

Studium akustických vlastností stavebních materiálů

Vlastimil Vašátko

Bakalářská práce
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav aplikované informatiky
akademický rok: 2005/2006

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vlastimil VAŠÁTKO**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Studium akustických vlastností stavebních materiálů**

Zásady pro vypracování:

1) Rešerše na téma:

- akustické vlastnosti materiálů
- způsoby měření akustických vlastností stavebních materiálů, tzn. materiálů na minerální bázi
- způsoby vyhodnocení získaných dat při měření akustických vlastností materiálů.

2) Zdokonalení zařízení pro experimentální ověření výsledků získaných simulací s využitím zařízení Brüel & Kjaer.

3) Vyhodnocení získaných výsledků pomocí vlastního vypracovaného software, který bude vytvářen v vývojovém prostředí MS Visual Studio, databázová platforma MS Access.

Význam práce bude spočívat v přepracování dosavadního způsobu řešení vyhodnocení, které neodpovídá současnému trendu IT a není kompatibilní s novými dostupnými IT prostředky.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Mišun V.: *Vibrace a hluk*, FS VUT v Brně (1998), 1. vydání (ISBN 80-214-1262-3).
2. Vaňková M. a kol.: "Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí, část I". *Učební texty vysokých škol. VUT Brno (1995)*, 1 - 144. 1. vydání (ISBN 80-214-0695-X).
3. Vaňková M. a kol.: "Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí, část II". *Učební texty vysokých škol. VUT Brno (1996)*, 1 - 164. 1. vydání (ISBN 80-214-0818-9).
4. F. Alton Everest: *Master Handbook of Acoustics*, McGraw-Hill Companies, Inc., USA (2001), 4. vydání (ISBN 0-07-136097-2).
5. Nový R.: "Hluk a chvění.", *Učební texty vysokých škol. ČVUT Praha (2000)*, 1 - 389. 2. vydání (ISBN 80-01-02246-3).

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Dušan Fojtů**
Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **14. února 2006**

Termín odevzdání bakalářské práce: **16. června 2006**

Ve Zlíně dne 14. února 2006


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
pověřený děkan




doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Byl vytvořen program pro vyhodnocení měření koeficientu zvukové absorpce různých stavebních materiálů. Program zpracovává měření závislosti koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci s možností ukládání, importem, exportem a dalším zpracováním výše uvedeného měření.

Byly použity nejnovější informační technologie pro vývoj programu AKUBAK_06 – vývojové prostředí Microsoft Visual Studio 2005 a databázová platforma Microsoft Access. Při vytváření programu byl daný důraz na třívrstvou architekturu.

Klíčová slova: hluk, vibrace, akustika, třívrstvé programování, .NET Framework, koeficient zvukové absorpce

ABSTRACT

Program for evaluation of measurement of coefficient of sound absorption different building material was created. Program processes measurement of dependencies of coefficient of sound absorption capacity on frequency with the possibility saving, import, export and next processing of the above measurement. The latest technologies of development of applications were used. Software AKUBAK_06 was created in Microsoft Visual Studio .NET environment with data access to Microsoft Access.

Work is focused on the three-layer architecture.

Keywords: noise, vibration, acoustic, three-layered programming, .NET Framework, coefficient sound absorption

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému odbornému vedoucímu Ing. Dušanu Fojtů za jeho pomoc, rady, trpělivost a čas, který mi věnoval při tvorbě této práce.

Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům, za jejich podporu po všech stránkách.

Motto

Dobře vykonáno je vždy lepší než dobře řečeno.

B. Franklin

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně dne 13. června 2006

.....

Vlastimil Vašátko

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 HARMONICKÉ KMITÁNÍ, VLNĚNÍ, VIBRACE	11
1.1 KMITAVÉ DĚJE.....	12
1.2 SIGNÁLY A SPEKTRA.....	19
1.3 ZVUK A VIBRACE – ŠÍŘENÍ ROZRUCHU	24
1.4 HLADINY A ENERGETICKÉ VELIČINY	31
1.5 ZDROJE ZVUKU A AKUSTICKÁ POLE.....	39
2 SOUČASNÝ ZPŮSOB MĚŘENÍ AKUSTICKÝCH VELIČIN	45
2.1 DVOUMIKROFONOVÁ IMPEDANČNÍ TRUBICE BRÜEL & KJAER TYP 4206	45
2.2 DVOUKANÁLOVÝ SIGNÁLNÍ ANALYZÁTOR BRÜEL & KJAER TYP 2034.....	45
2.3 MIKROPROCESOROVÝ LINIOVÝ ZAPISOVAČ LOGOLINE 500	46
3 VÝVOJ VLASTNÍ APLIKACE AKUBAK_06	48
3.1 TŘÍVRSTVÁ ARCHITEKTURA	48
3.1.1 Úvod.....	48
3.1.2 Proč tři a ne dvě?.....	48
3.1.3 Staronový význam jednotlivých vrstev	50
3.1.4 Tenký a Tlustý klient	50
3.1.5 Datová vrstva	50
3.1.6 Aplikační vrstva	50
3.2 ZÁKLADY OOP VE VB.NET	51
3.2.1 Základní pojmy z OOP.....	51
3.2.2 Dědičnost.....	53
3.2.3 Polymorfismus	54
3.2.4 Objektový návrh aplikací	55
3.3 .NET FRAMEWORK	55
II PRAKTICKÁ ČÁST	59
4 PROGRAM AKUBAK_06	60
4.1 HLAVNÍ DIALOGOVÉ OKNO APLIKACE	60
4.2 OKNO DETAIL MĚŘENÍ	62
4.3 OKNO PŘIDÁNÍ HODNOTY.....	63
4.4 DOPORUČENÉ SOFTWAREOVÉ A HARDWAREOVÉ POŽADAVKY PROGRAMU AKUBAK_06.....	64
ZÁVĚR	65
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	66
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	67

SEZNAM OBRÁZKŮ	68
SEZNAM TABULEK.....	70
SEZNAM PŘÍLOH.....	71
PŘÍLOHA P 1: PŘÍKLAD TEXTOVÉHO SOUBORU PRO IMPORT DO PROGRAMU AKUBAK_06	72
PŘÍLOHA P 2: PŘÍKLAD HTLM SOUBORU VYTVOŘENÉHO POMOCÍ FUNKCE EXPORT V PROGRAMU AKUBAK_06.....	73
PŘÍLOHA P 3: CD DISK SE ZDROJOVÝMI KÓDY A PROGRAMEM AKUBAK_06	74

ÚVOD

Akustika je vědní obor zabývající se mechanickými kmity a vlnami a souvisejícími jevy.

Stavební akustika je vědní a technický obor zabývající se akustickými vlastnostmi budov, jejich okolí, stavebních materiálů a konstrukcí.

Stavebně technické parametry jak celé budovy tak i jednotlivých dílčích konstrukcí zásadně ovlivňují užité vlastnosti objektu. Každý se na stavbu dívá ze svého pohledu - pro někoho je nejdůležitější architektonický dojem, jiný se soustředí na statické funkce, pojišťovna posuzuje řešení požární odolnosti a zabezpečení objektu. Pravdou je, že akustické vlastnosti prostoru posuzuje téměř každý - dokáže říci, zda je mu v dané místnosti příjemně, jak vnímá „pocit pohody prostředí“.

Akustickou pohodu v uzavřeném prostoru lze ovlivnit úpravami stavební akustiky, které slouží k omezení šíření rušivého hluku z hlučných okolních prostorů do prostorů chráněných. K tomu se využívají zvukoizolační vlastnosti stavebních materiálů a konstrukcí.

Zvuková izolace, jinak známá jako útlum zvuku, je zabránění přenosu zvuku z jedné části budovy na druhou, například postavením dělící příčky nebo jinými technikami.

Pojem, který se často zaměňuje se zvukovým útlumem, je zvuková absorpce. Zvuková absorpce je snížení zvukové energie měřené v jedné místnosti. Je to schopnost povrchu pohlcovat zvukovou energii. Zvuková absorpce je rozdíl mezi zvukovou energií dopadající na povrch a zvukovou energií odraženou od tohoto povrchu.

Absorpční vlastnosti materiálu se udávají ve stupni absorpce zvuku α (alfa) a je to poměr absorbované energie k celkové zvukové energii, která přichází k objektu. Při úplné absorpci $\alpha = 1$, při úplné reflexi $\alpha = 0$. Čím menší je tento koeficient, tím větší jsou zvukové ozvěny rezonance v prostoru.

V praxi se používají materiály absorbující zvuk všude tam, kde je třeba zabránit nežádoucím ozvěnám a reflexím (odrazům) zvuku - koncertní sály a kinosály, ale i výrobní haly a prostory.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HARMONICKÉ KMITÁNÍ, VLNĚNÍ, VIBRACE

Chránit životní prostředí je jedním z nejdůležitějších úkolů konce dvacátého století. A hluk je vedle daleko hmatatelnějšího znečišťování ovzduší a vod jedním z nebezpečí přijatelného životního prostředí. Pouze zdánlivě je hluk méně nebezpečný než znečišťování chemická, ale jeho nebezpečnost byla zdravotně prokázána i v případech, kdy se nejedná o zmenšení citlivosti sluchu nebo přímo hluchotu. Následky buď dlouhodobého působení nižších hladin hluku nebo i mžikovou intenzivní expozicí hlukem jsou často zařazovány pod všeobecný pojem - neurovegetativní dystonie. Působící vibrace prokazatelně mohou vyvolat vazoneurózu, ale psychické a psychosomatické „odchyly“ nemusí být diagnosticky s hlukem přímo spojovány.

Hlučnost v životním prostředí roste s pokračující technizací našeho života v takové míře, že nejen překračuje v podstatném počtu případů hranici zdravotní únosnosti, ale v mnohých případech se stává nekontrolovatelnou v tom smyslu, že se vymyká technicko-ekonomickým možnostem udržet rostoucí hlučnost prostředí pod přijatelnou - i když zdravotní únosnost překračující - hranici.

Stejně závažná je i technická otázka. Hluk je průvodním jevem chvění, které u technických zařízení způsobuje namáhání materiálu vedoucí až k přímé poruše, zahrnované či spíše ukrývané pod pojem únavových poruch. Ekonomické důsledky a následné náklady s nimi spojené mnohdy překračují zvýšené pořizovací náklady na konstrukci vhodnou z hlediska vibrační či hluku právě tak, jako jsou přímá protihluková opatření levnější než dodatečná opatření „hotových“ řešení.

Boj proti hluku je proto veden ze dvou směrů: technického a zdravotního. Jestliže v prvním případě chceme vhodným návrhem zvýšit životnost sledovaného zařízení, pak ve druhém případě se jedná spíše o zachování dosažitelné „životnosti sledovaného objektu“ - člověka. Bohužel často platí: zařízení jsou drahá, lidé jsou laciní.

Pokroku bylo dosaženo vždy tehdy, když se podařilo sledovaný děj utřídit, změřit a na základě toho porovnat a vyvozovat objektivní závěry. U hluku jsou hned na začátku obtíže. Zatímco z technického hlediska postačí proměřit jasně definované fyzikální veličiny, musíme při sledování hlučnosti prostředí ze zdravotního hlediska zavést měřítka, která by udávala míru sluchového počítka, škodlivosti či subjektivně vnímané rušivosti.

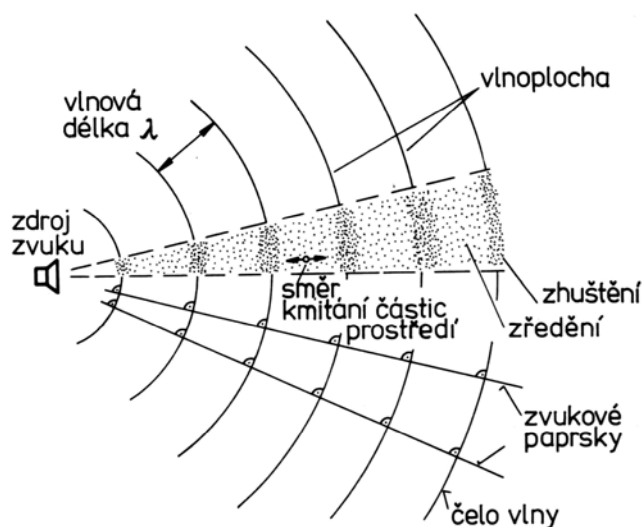
Poněvadž sluchový orgán má nelineární vlastnosti pro všechny veličiny, kterými můžeme hluk popsat, je jeho měření a hlavně hodnocení značně složité. Není se co divit, že v normách a předpisech nalézáme přes deset různých způsobů vyjádření a popsání hlučnosti a v literatuře dosahuje počet způsobů několika desítek. Každý ze způsobů má své oprávnění za určitých podmínek a naopak je nevhodný za jiných podmínek. Následující texty mají napomoci a navést na správný postup a metodiku hodnocení, aby bylo možno měření následně opakovat a různá měření mezi sebou porovnávat. Mnohost a různost metodik si vynutila

i mnohost zcela přesných technických termínů a jejich jednoznačnost je nutno až úzkostlivě dodržovat. Pouze pojem hlučnost je volný pro široké používání.

Texty mají být praktickým návodem bez detailů teoretických rozborů, a proto se mnohá fakta uvádějí autoritativně až direktivně, bez bližšího zdůvodňování. Rozsah textů ale omezuje i jít do všech detailů; u některých speciálních případů se musí text omezit na hlavní zásady a pouze poukázat na odpovídající normu, předpis nebo lehčeji dosažitelnou literaturu.

1.1 Kmitavé děje

Ať vnější či vnitřní dynamické síly vyvolávají v pružném prostředí mechanických soustav a konstrukcí *kmitání*, které je příčinou chvění a hluku. Jsou-li jakýmkoliv způsobem uvedeny částice prostředí do mechanického kmitání, je tento rozruch



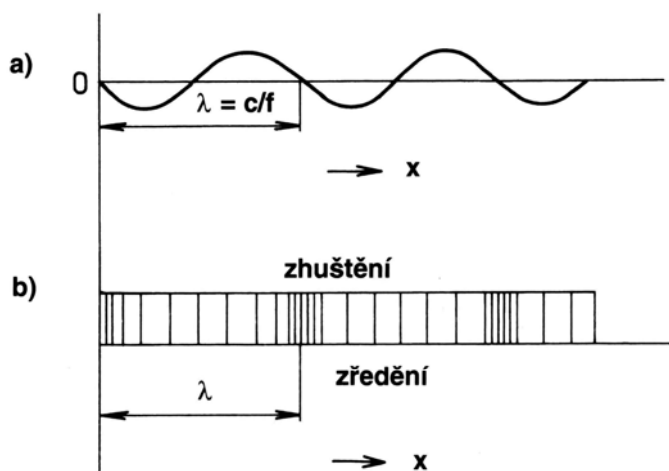
Obr. 1. Šíření zvukové vlny, vlnoplocha a zvukový paprsek

předáván pružnými vazbami i sousedícím částicím. Šíření rozruchu nazýváme vlnění a místa, do kterých rozruch dorazí ve stejném okamžiku a se stejnou fází, můžeme spojit myšlenou plochou, kterou nazýváme vlnoplocha (obr. 1). Zdroj kmitání, který vyvolal prvotní rozruch, určuje svým tvarem, rozměrem a chováním (způsobem kmitání) i tvar vlnoplochy.

Rozruch se šíří vlnami a místa, kam až vlnění ve stejném okamžiku dorazilo, označujeme jako čelo vlny. Směry šíření vlnoploch se nazývají paprsky; paprsky jsou kolmé na vlnoplochy v prostředích, ve kterých jsou vlastnosti prostředí směrově nezávislé. Pokud se tedy neuplatňují jiné vlivy, šíří se paprsky přímočaře a z bodového zdroje rozruchu se šíří všemi směry, takže vlnoplochy mají kulový tvar se středem v místě zdroje rozruchu.

V klidu - bez působící dynamické síly - jsou částice prostředí v tzv. rovnovážné (též klidové) poloze, ze které se šířícím rozruchem vychylují a kolem které oscilují. Svoji výchylkou předávají rozruch sousedícím částicím. Částice se vychylují buď příčně ke směru šíření, nebo se vychylují podélně ve směru šíření, a tak se v určitých částech homogenního pružného prostředí zvětšuje hustota částic, v jiných snižuje (obr. 2). Tím se např. ve vzduchu mění tlak plynu oproti své statické hodnotě (ve vzduchu proti atmosférickému tlaku); tato proměnná složka superponovaná atmosférickému tlaku se nazývá akustický (zvukový) tlak.

Je to veličina skalární, tzn. že je udána pouze velikostí.

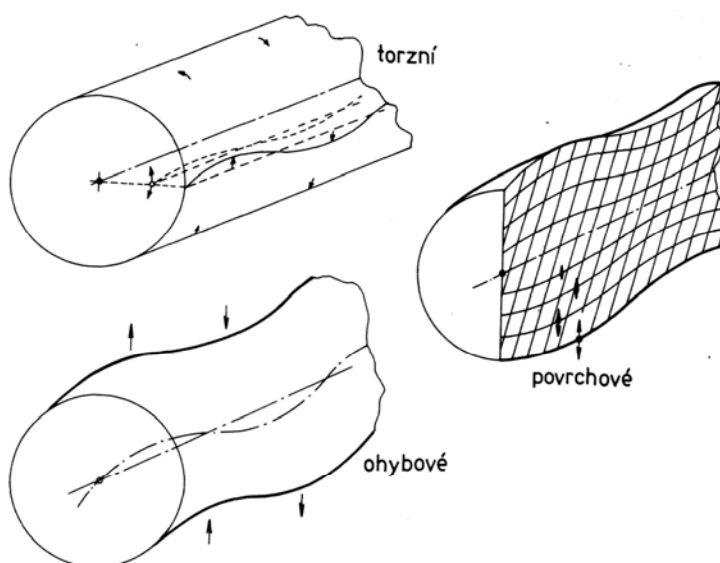


Obr. 2. Grafické znázornění průběhu výchylek vlnění příčného (a - u tuhých látek) a podélného (b - u plynného a kapalného prostředí)

Jestliže částice prostředí kmitají ve směru šíření vlnění, mluvíme o vlnění podélném - longitudinálním. Při kmitání částic kolmo na směr šíření vlnění mluvíme o vlnění příčném - transversálním. O tom, zda se prostředím šíří vlny podélné nebo příčné, rozhodují vlastnosti prostředí. Jestliže při posuvu jedné vrstvy prostředí vzhledem ke druhé vznikají pružné síly (smyková napětí), které se snaží vrátit posunutou vrstvu do rovnovážné polohy, mohou

se prostředím šířit příčné vlny. Jestliže v prostředí vznikají pružné síly při stlačování a rozpínání, šíří se v tomto prostředí vlny podélné. Nejjednodušší případ je jednorozměrné postupné vlnění, které lze realizovat pružnou bodovou řadou. Postupné příčné vlnění můžeme připodobnit kmitáním volného konce rozkmitaného provazu, postupné podélné vlnění rozkmitáním velmi dlouhé spirálové pružiny (viz též obr. 2). Přitom je třeba zdůraznit, že ani

při podélném ani při příčném vlnění se částice v prostředí nepřemisťují, ale pouze kmitají kolem rovnovážných poloh. Částice přitom kmitají se stejnou amplitudou (pokud neuvažujeme útlum), ale s různou fází. U příčného vlnění je dále důležité, v jaké rovině částice kmitají - tato rovina je nazývána rovinou kmitů - polarizační rovinou.

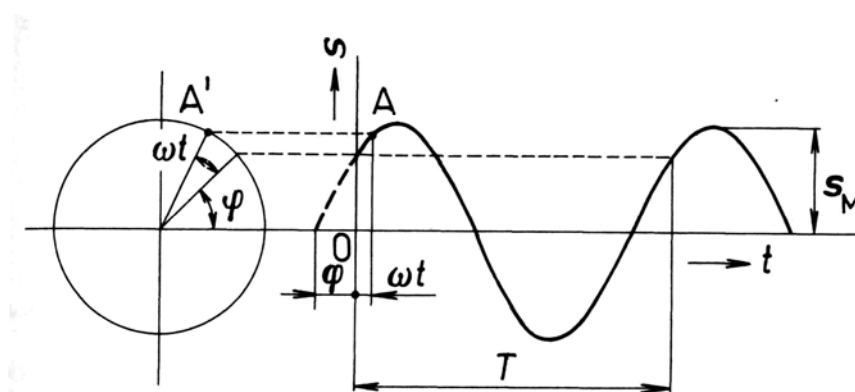


Obr. 3. Druhy příčného vlnění

Příčné vlnění může být několika druhů (obr. 3). Jestliže, např. na tyč, působí budící kroutící moment, vytvoří se vlnění torzní. Jestliže na tyč působí budící síla kolmá k ose tyče, vznikne vlnění ohybové. Při proudění média kolem tělesa mohou za určitých podmínek vzniknout povrchové vlny (Rayleighovo vlnění).

Pravidelným, periodickým vychýlením částice z klidové polohy je vyvoláno tzv. harmonické kmitání, kde okamžité hodnoty výchylky částice sledují sinusový zákon, tj. odpovídají

v časovém rozložení průběhu sinusové funkce (obr. 4). Výchylka s [m] z „nulové“ (tj. klidové) polohy dosáhne až své maximální hodnoty s_{\max} a vrací se přes klidovou polohu až do své záporné maximální výchylky ($-s_{\max}$) a dále osciluje kolem své rovnovážné polohy. Výchylka je dána nejen velikostí, ale je určena i směrem; je to tedy veličina vektorová.



Obr. 4. Časové rozvinutí harmonického kmitání při amplitudě výchylky s_M , úhlovém kmitočtu ω , a fázovém posuvu φ

Doba kmitu (perioda) T [s], která je určena časem mezi dvěma sousedícími kladnými maximálními výchylkami, určuje i úhlový kmitočet ω [s^{-1}] a tím i samotný kmitočet f [Hz] (počet celých kmitů za sekundu) harmonického děje. Pokud v náhodně zvoleném časovém okamžiku počátku sledovaného děje není uvažovaná částice prostředí v klidové - rovnovážné - poloze, říkáme, že periodický děj má počáteční fázový úhel φ [rad].

Značíme-li běžící čas t [s], jsou tyto veličiny vzájemně vázány vztahy

$$s = s_{\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad [m; m, s^{-1}, s, \text{rad}] \quad (1)$$

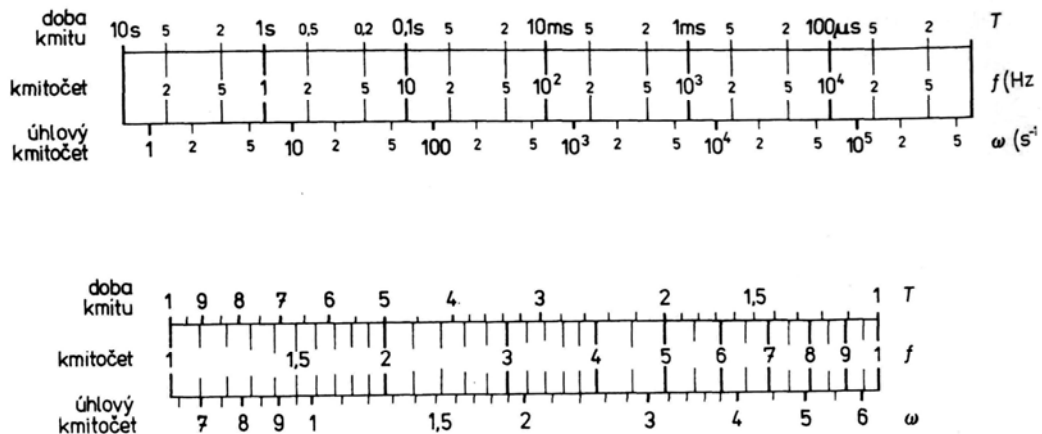
$$\omega = 2\pi f = 2\pi / T \quad [s^{-1}; \text{Hz}; \text{s}] \quad (2)$$

$$f = 1/T = \omega / 2\pi \quad [\text{Hz}; \text{s}; s^{-1}] \quad (3)$$

Výraz $(\omega t + \varphi)$ se nazývá fáze harmonicky proměnné veličiny. Probíhají-li dva děje se shodným kmitočtem f , ale mají různé fázové úhly φ_1 a φ_2 , označujeme rozdíl $\varphi_1 - \varphi_2$ jako tzv. fázový posun [rad (nebo $\alpha[\text{rad}] = \alpha \cdot \pi/180[^\circ]$)] mezi oběma ději, určující současně i časový rozdíl, o který jsou oba děje posunuty.

$$t = (\varphi_1 - \varphi_2) / \omega \quad [\text{s}; \text{rad}, s^{-1}] \quad (4)$$

Hodnoty doby kmitu, kmitočtu a kruhového kmitočtu můžeme získat z nomogramu (obr. 5), kde v horní části získáme řádovou hodnotu a v dolní hodnotu přesnou.



Obr. 5. Nomogram závislosti mezi dobou kmitu, kmitočtem a úhlovým kmitočtem (hrubá a jemná hodnota)

Pohyb částice lze vedle výchylky, tj. dráhy z klidové polohy, popsat u této částice pohybovou rychlostí v [m/s] nebo jejím zrychlením a [m/s²]. Poněvadž obecně platí i vztah

$$\cos \alpha = \sin(\alpha + \pi / 2) \quad [\text{rad}] \quad (5)$$

můžeme pro okamžitou rychlost uvést vztahy

$$v = ds / dt = \omega s_{\max} \cos(\omega t + \varphi) = v_{\max} \cos(\omega t + \varphi) = v_{\max} \sin(\omega t + \varphi + \pi / 2) \quad (6)$$

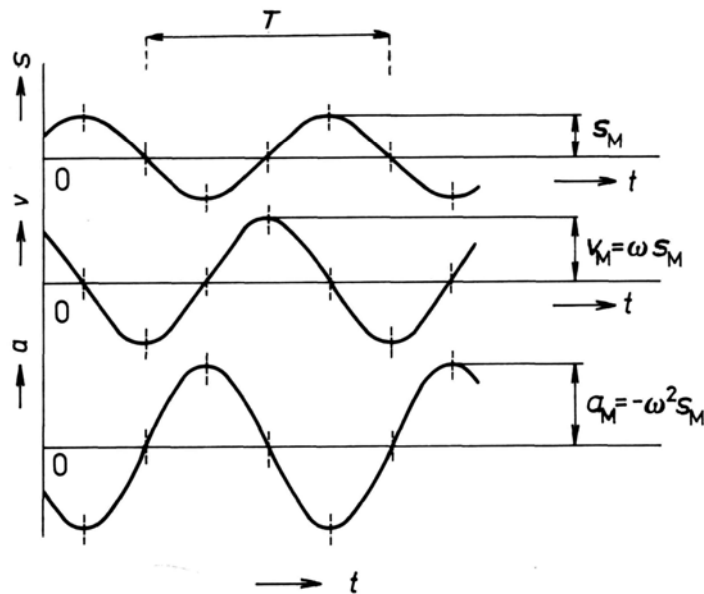
ze kterých vyplývá, že fáze rychlosti kmitání je proti fázi výchylky posunuta o $\pi/2[\text{rad}] = 90^\circ$. Pro jednoduchý harmonický signál dále platí

$$v = j\omega s = j2\pi f \cdot s \quad [\text{ms}^{-1}; \text{s}^{-1}, \text{m}; \text{Hz}, \text{m}] \quad (7)$$

Protože je podle Newtonova zákona zrychlení měřítkem síly ($F = m \cdot a$), která na částici působí, je okamžité zrychlení dáno časovou změnou rychlosti, a odvozeně druhou derivací okamžité výchylky podle času, tedy

$$\begin{aligned} a &= dv/dt = d^2s/dt^2 = -\omega v_{\max} \sin(\omega t + \varphi) = \\ &= -\omega^2 s_{\max} \sin(\omega t + \varphi) = a_{\max} \sin(\omega t + \varphi) \end{aligned} \quad (8)$$

Fáze zrychlení je tedy proti fázi rychlosti posunuta o dalších 90° a proti výchylce o 180° , tzn. že je s ní v protifázi. Podobně jako u rychlosti můžeme pro harmonický signál stanovit (obr. 6)



Obr. 6. Časové rozvinutí průběhu výchylky, rychlosti a zrychlení hmotného bodu při jeho harmonickém kmitání

$$a = j\omega v = -\omega^2 s \quad a \quad v = 1/j\omega a = j\omega s \quad (9)$$

Podobně jako rychlost částic je i zrychlení částic veličinou vektorovou, tedy je udáno velikostí a směrem.

Nezaměňujme rychlost kmitání v [m/s] s rychlostí šíření rozruchu prostředím c [m/s], tj. s rychlostí se kterou se např. zvuková vlna šíří vzduchovým prostředím. Rychlost šíření

rozruchu ve vzduchu je závislá na hustotě prostředí ρ [kg. m⁻³], teplotě δ [°C] a i dalších veličinách. V homogenním prostředí je rychlost nezávislá na směru šíření, v nehomogenním prostředí je i směrově závislá. Poněvadž se rychlost šíření spolupodílí na způsobu šíření rozruchu, je vhodné si uvědomit alespoň některé z hodnot, jak jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1. Rychlost šíření rozruchu c [m/s] prostředím

Prostředí	Rychlost šíření	Prostředí	Rychlost šíření
Vzduch, 0 °C, 10 ⁵ Pa	332	dřevo, po letech	≈ 4300
Vzduch, 20 °C, 10 ⁵ Pa	343	dřevo napříč let	≈ 1500
Vzduch, 40 °C, 10 ⁵ Pa	356	papír	≈ 2000
Vzduch, -20 °C, 10 ⁵ Pa	319	cihly, beton	≈ 2200
Ocel	≈ 5200	beton	≈ 3000
Hliník	≈ 4900	voda, 14 °C	1450
Sklo	≈ 5300	PVC	≈ 850
Mosaz	≈ 3500	tech. pryž (40° Sh)	≈ 60
Olovo	≈ 1300	vlákniny	≈ 40

Je-li vlnoplochou geometrické místo bodů, kde bylo současně dosaženo maximální okamžité hodnoty zhuštění prostředí, jsou dvě sousední vlnoplochy při vyzařování jednoduchého signálu s kmitočtem f [Hz] od sebe vzdáleny o vlnovou délku λ [m] vyzařovaného rozruchu

a při rychlosti šíření rozruchu c [m/s] platí

$$\lambda = c / f \quad [\text{m}; \text{ms}^{-1}, \text{Hz}] \quad (10)$$

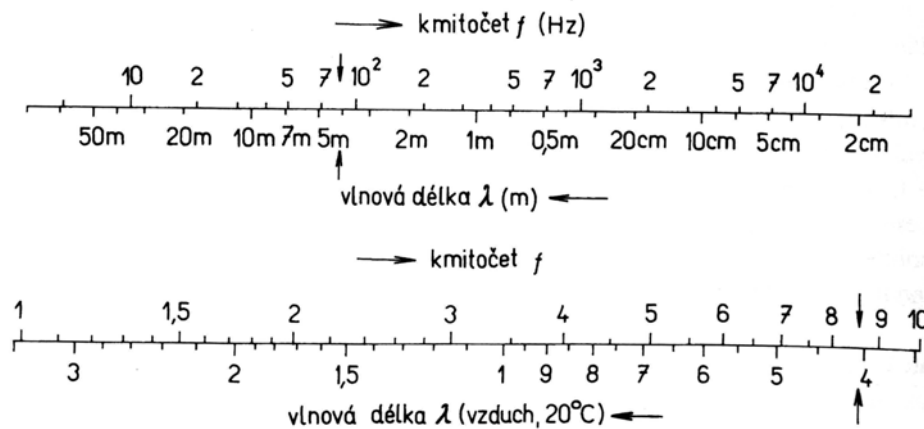
Vlnová délka je při šíření zvuku, chování se zdrojů zvuku a vytvořivším se zvukovém poli jednou z rozhodujících veličin, a proto je pro rychlou orientaci při normálním atmosférickém tlaku a 20 °C uvedena v tab. 2.

Tab. 2. Závislost vlnové délky ve vzduchu na kmitočtu

Kmitočet [Hz]	Vlnová délka [m]	Kmitočet [Hz]	Vlnová délka [cm]	Kmitočet [Hz]	Vlnová délka [cm]
---------------	------------------	---------------	-------------------	---------------	-------------------

16	21,5	250	137	4000	8,57
32	10,7	500	69	8000	4,29
63	5,4	1000	34	16000	2,14
125	2,7	2000	17	32000	1,07

Řádové hodnoty převodu kmitočet - vlnová délka lze zjistit z horní části nomogramu na obr. 7, přesnější v dolní části nomogramu.



Obr. 7. Přepočet kmitočtu na vlnovou délku (hrubá a jemná hodnota)

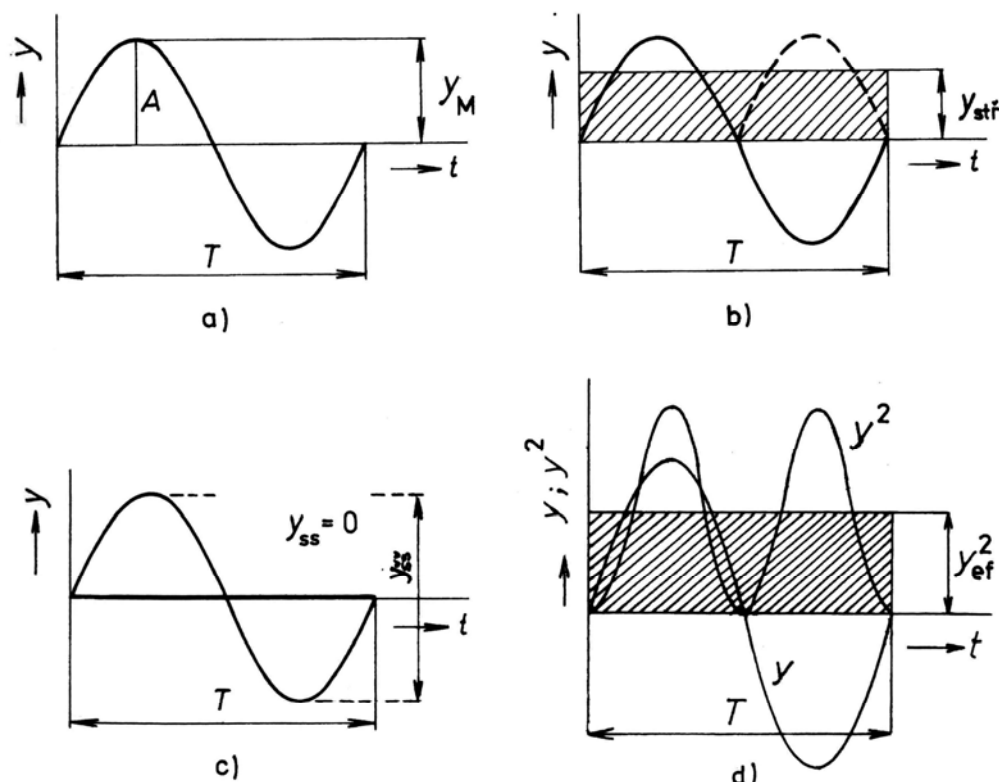
Vzhledem ke značnému významu vlnové délky při úvahách o šíření zvuku používáme někdy také tzv. vlnové číslo k [m^{-1}]

$$k = \omega / c = 2\pi f / c = 2\pi / \lambda \quad [\text{m}^{-1}; \text{s}^{-1}, \text{ms}^{-1}; \text{Hz}, \text{ms}^{-1}; \text{m}] \quad (11)$$

1.2 Signály a spektra

Nejjednodušší periodický signál můžeme v časovém rozložení znázornit sinusoidou, která určuje časový průběh některé ze sledovaných veličin. Obecně je průběh okamžitých hodnot (obr. 8) dán při maximální hodnotě (amplitudě) y_m (ostatní znaky adekvátně ke vztahu (1)) vztahem

$$y = y_m \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (12)$$



Obr. 8. Grafické znázornění špičkové hodnoty (a), střídavé střední hodnoty (b), střední hodnoty (c) - stejnosměrná složka = 0 a efektivní hodnoty (d) jednoduchého signálu

Složené signály jsou signály s časovým průběhem nesinusovým. Složený signál může být buď periodický, opakuje-li se průběh shodně po době periody T , nebo neperiodický, neopakuje-li se nikdy totožně. Neperiodickými signály jsou např. šумы, jednorázové děje (bouchnutí, akustický třesk ap.), ale i řeč nebo i hudba (neuvažujeme-li ji v jejích jednotlivých tónech). Maximální hodnota y_M nebo amplituda (výkmit, špičková hodnota) složeného signálu nemusí být symetrická, tj. stejně velká při kladných i záporných výchylkách; pak součet $y_{M+} + y_{M-}$ nazýváme hodnotou špička-špička, mezivrcholovou nebo rozkmit. Někdy používaná hodnota peak udává větší z absolutních hodnot y_{M+} a y_{M-} .

Lze dokázat, že každý složený signál lze rozložit na součet řady jednoduchých signálů. Označíme-li dobu periody $T (= 1/f)$ jako základní periodu složeného signálu, můžeme libovolný složený signál vytvořit součtem složek o kmitočtech $f, 2*f, 3*f, \dots, n*f$. U těchto tzv. harmonických složek, rozeznáváme složku základní, první (f) a dále vyšší harmonické

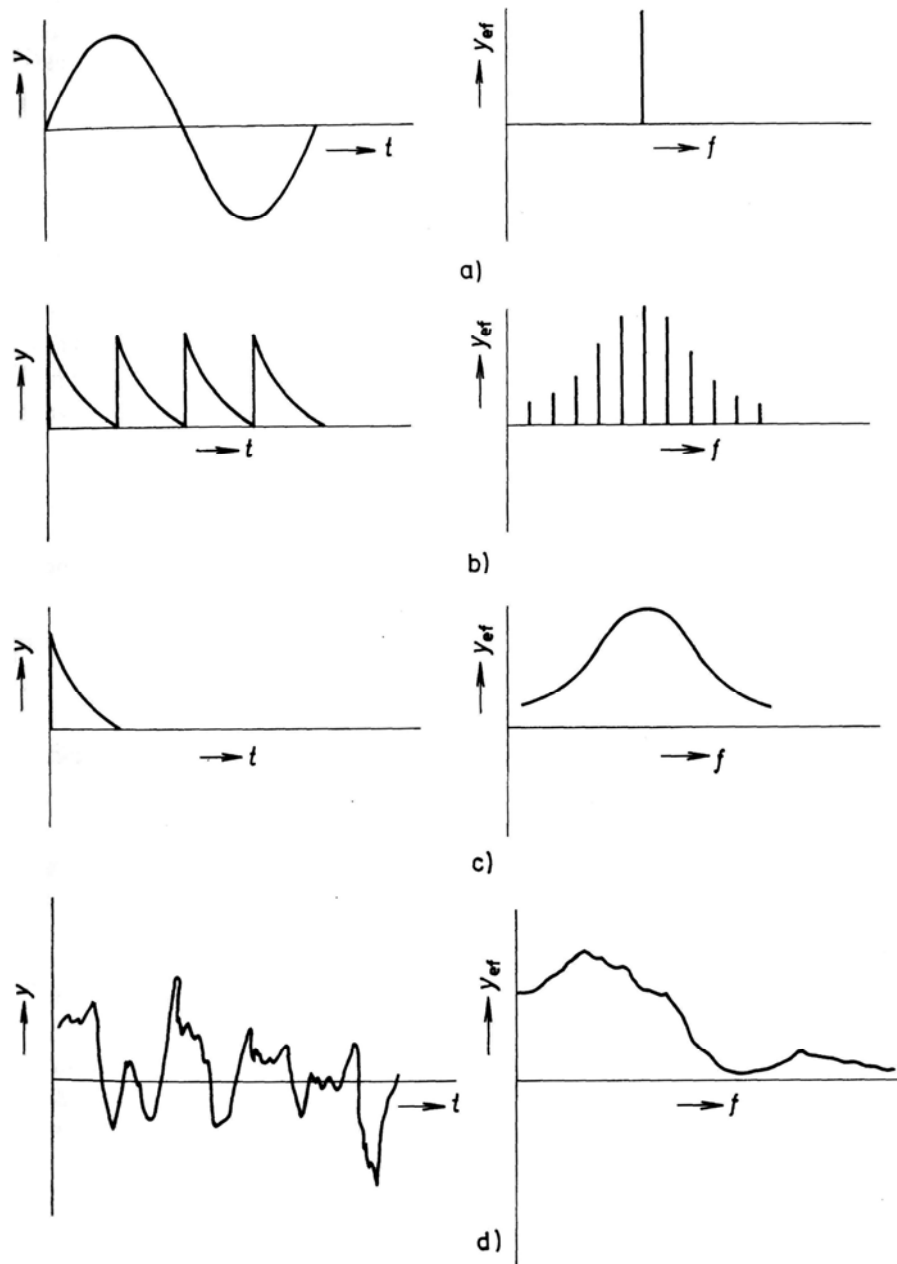
($2*f$, $3*f$ atd.). Periodické signály obsahují různé vyšší harmonické (nemusí tvořit souvislou řadu) s různou amplitudou a fází. Neperiodické děje se skládají z nekonečné řady různých kmitočtů, v extrémním případě ze všech kmitočtů, ležících nekonečně blízko sebe. Vedle kmitočtových složek může složený signál obsahovat i stejnosměrnou složku.

Každý signál lze vyjádřit pomocí jednoduchých signálů a každý jednoduchý signál je určen jeho kmitočtem a hodnotou (obvykle efektivní), kde jeho fázi v hlukoměrné technice nemusíme většinou respektovat (je důležitá a *naopak rozhodující* pouze u intenzitních měření). Popis složeného signálu souborem jednoduchých signálů nazýváme kmitočtové spektrum (nesprávně používáno *kmitočtová charakteristika*) a zakresluje ho do grafu, kde na osu x vynášíme kmitočet (většinou v logaritmickém měřítku) a na osu y hodnotu té které složky buď její hodnotou (obvykle) efektivní, nebo v jejich v dB vyjádřených hladinách (stupnice osy y může být lineární nebo logaritmická).

Jednoduchý signál je v kmitočtovém spektru vyjádřen diskretní složkou (obr. 9a). Neperiodický signál, obsahující široké pásmo kmitočtů, *vytváří* spojitě spektrum. Neperiodickými signály jsou např. šумы, kde tzv. bílý šum má pro všechny kmitočty stejnou efektivní hodnotu (tak jako bílé světlo). Pro růžový šum klesají efektivní hodnoty jednotlivých složek k vyšším kmitočtům na poloviční hodnotu pro dvojnásobný kmitočet (jinak řečeno, jeho kmitočtové spektrum má sklon -3 dB/okt). Ostatní šумы označujeme jako barevné šумы a vyznačují se náhodným vztahem kmitočtu a hodnoty.

Signály, které obsahují shodné diskretní složky, nazýváme signály koherentní, ostatní signály označujeme jako signály nekoherentní. Signály koherentní musíme vzájemně sčítat s ohledem na jejich efektivní hodnoty a fázi jednotlivých složek; signály nekoherentní je možné sčítat pouze energeticky, tj. ve smyslu rovnice (15).

U lineárních přenosových soustav platí, že jejich chování při libovolném signálu lze vyšetřit tak, že vstupní signál se rozloží na součet jednoduchých, tj. sinusových signálů a celkové chování přenosové soustavy se vyšetří pro každou jednotlivou složku zvlášť. Výsledný projev je pak určen jako součet projevů každé jednotlivé složky. Takový výsledek je označován jako výsledek získaný zákonem superpozice.



Obr. 9. Časové průběhy a odpovídající kmitočtová spektra signálu sinusového (a), periodického složeného signálu (b) - spektrum diskrétních složek a neperiodického signálu (c a d - spojitá spektra)

V praxi nepoužíváme pro signály při běžných výpočtech jejich amplitudy - vrcholové hodnoty y_M , ale nejčastěji hodnoty efektivní y_{ef} (často i bez zvláštního označování), které jsou měřítkem energie přenášené signálem. Obecně je efektivní hodnota určité veličiny y definována vztahem

$$y_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2 \cdot dt} \quad (13)$$

kteřá je pro jednoduchý sinusový průběh (a pouze pro něj!) dána hodnotou

$$y_{ef} = 0,707 \cdot y_M \quad (14)$$

Efektivní hodnota je vždy konečná, kladná a nenulová, neboť energie každého fyzikálně realizovaného děje (kterému je efektivní hodnota úměrná) nemůže být ani nekonečná, ani nulová. Pro složený signál je jeho efektivní hodnota podle zákona superpozice určena vztahem

$$y_{ef} = \sqrt{(y_{1ef})^2 + (y_{2ef})^2 + \dots + (y_{nef})^2} \quad (15)$$

Stejnoseměrná složka y_{ss} složeného signálu může nabývat nenulových hodnot a je určena jeho střední hodnotou,

$$y_{ss} = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) \cdot dt \quad (16)$$

kteřá je u jednoduchých, tj. sinusových signálů, nulová.

Oproti střední hodnotě můžeme určit - a nesmíme ji zaměňovat - s tzv. střídavou střední - průměrnou - hodnotou,

$$y_{str} = \frac{1}{T} \int_0^T |y(t)| \cdot dt \quad (17)$$

kteřá má pro jakýkoliv signál nenulovou hodnotu. Pro jednoduchý signál je

$$y_{str} = 0,637 \cdot y_M \quad (18)$$

Pro složený signál platí pouze nerovnost

$$y_{str} \leq y_{1str} + y_{2str} + \dots + y_{nstr} \quad (19)$$

Faktory pro přepočítání hodnot u jednoduchých signálů jsou v tab. 3.

Další důležitou hodnotou při zpracovávání signálů je tzv. činitel výkmitu (crest faktor), definující schopnost přenosu nezkráceného (nelimitovaného) signálu, který udává kolikrát je maximální hodnota signálu větší než jeho hodnota efektivní (y_m/y_{ef}). Tato hodnota není třeba při hodnocení hluku nebo vibrací, ale je rozhodující pro správný, věrný přenos měři-

cím řetězcem (tj. bez limitace nebo významného zkreslení); nepřijatelné překročení měřicím řetězcem akceptovatelného činitele výkmitu

Tab. 3. Přepočty hodnot jednoduchých, tj. sinusových signálů

Z hodnoty:	Amplituda	Průměrná	Efektivní	Špička-špička
Na hodnotu:				
amplituda	1	1,5707	1,4142	0,5000
průměrná	0,6366	1	0,9003	0,3183
efektivní	0,7071	1,1107	1	0,3535
šp.- šp.	2	3,1416	2,8284	1

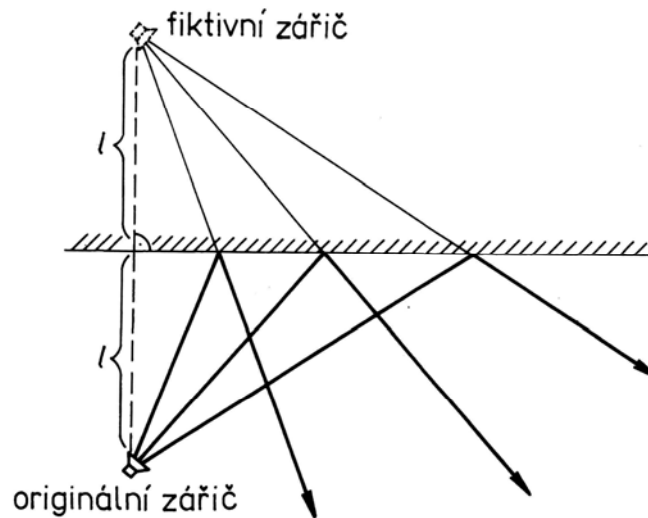
signalizují tzv. indikátory přebuzení. U jednoduchého signálu je činitel výkmitu = 1,41, u složených signálů (např. obdélníků) dosahují až desítkových hodnot. Měřicí řetězce připouštějí činitel výkmitu až asi 5, výjimečně 8.

1.3 Zvuk a vibrace – šíření rozruchu

Šíření vlnění předpokládá prostředí, které je složeno z hmotnostních částecek a vyznačuje se stlačitelností nebo pružností. K šíření dojde vlivem silového působení budícího kmitání, kde rozruch (přenášená energie) se šíří od buzené částice (zdroje) rychlostí šíření c . V rozsahu akustických kmitočtů (tj. slyšitelných) označujeme vlnění v plynném či kapalném prostředí jako zvuk, mechanické vlnění (kmitání) v tuhých látkách jako vibrace (bez kmitočtového omezení).

Při šíření se rozruchu dochází k ovlivňování *přímocarého* šíření vlivem odrazu od překážek, ohybem v prostředí s měnícími se vlastnostmi a nebo lomem při přechodu z jednoho prostředí do prostředí s jinými vlastnostmi; o míře odrazu, ohybu i lomu rozhoduje změna vlnové impedance prostředí.

Odraz nastává při šíření vln rozruchu proti překážce. Intenzita odražené vlny závisí na pohltivých vlastnostech odrazné plochy a na vlnové délce signálu. Jestliže se jedná o rovinnou plochu, jejíž rozměry jsou podstatně větší než délka dopadající vlny, lze užít zákona odrazu, podle kterého se úhel odrazu rovná úhlu dopadu. Geometrickou konstrukcí šířící se vlny usnadní tzv. fiktivní zdroj, kde se využívá metody zrcadlového obrazu (obr. 10).



Obr. 10. Konstrukce odražených paprsků pomocí zrcadlového obrazu zdroje (fiktivního zářiče)

Odraz nastává tehdy, je-li vlnová délka srovnatelná nebo menší než rozměry plochy (ve všech směrech), od které odraz nastává. U složeného signálu, obsahujícího řadu kmitočtů, nastane odraz jen pro ty kmitočty, pro něž platí

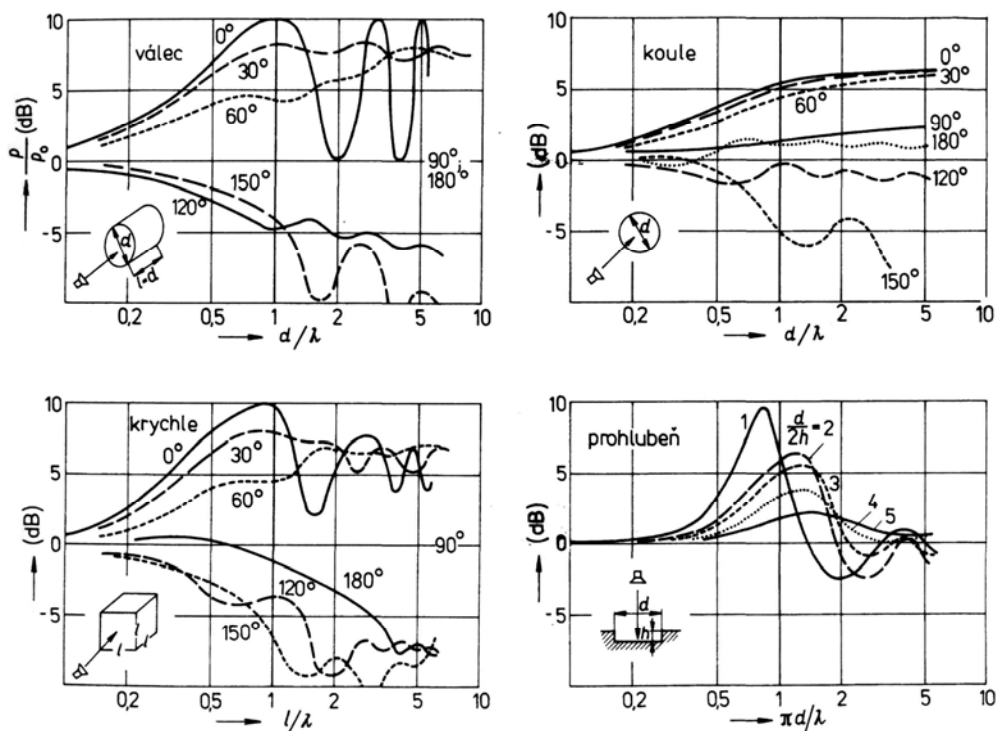
$$\lambda \leq l \quad \text{nebo} \quad f \geq c/l \quad (20)$$

kde l [m] je nejmenší rozměr plošné překážky; odražený signál bude tedy mít změněné spektrální složení, projevující se úbytkem složek s nižším kmitočtem.

U vibrací přenášených konstrukcí nastává odraz na styku materiálů s rozdílnými vlastnostmi (především modulu pružnosti v tahu). Proto se pro útlum vibrací vřazují do přenosových cest tzv. sendvičové (vrstvené) konstrukce.

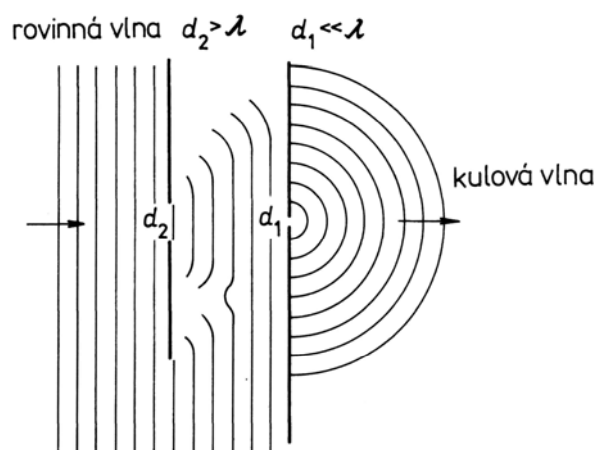
U zakřivených ploch je odraz podstatně složitější. Odraz je závislý na vzájemném poměru vlnové délky, poloměru zakřivení a celkových rozměrech odrážející plochy. Pro popis vzniklého pole a vykreslení paprsků šířícího se rozruchu je vhodné využít konstrukce podle Huygensova principu, podle kterého lze každý bod vlnoplochy považovat za zdroj nového vlnění šířícího se v kulových vlnoplochách. Kulové vlny se skládají a jejich obalová plocha vytvoří v prostoru hledanou novou vlnoplochu. U složitých geometrických tvarů dochází odrazy u vydutých (konkávních) ploch ke koncentraci energie, u ploch vypuklých (konvexních) k rozptylu energie.

Odraz zvuku vyvolá před překážkou koncentraci zvukové energie, která se projeví hlavně vzestupem akustického tlaku. Pro jednoduché geometrické tvary překážek je pro rychlou informaci vyznačeno relativní zvýšení akustického tlaku před čelem překážky (obr. 11) v závislosti na úhlu dopadu signálu vzhledem k ose překážejícího tělesa a na rozměru překážky a vlnové délce signálu. Naopak za překážkou vzniká akustický stín, kde na odvráceném (zadním) povrchu překážky se projeví pokles akustického tlaku přibližně o tolik dB, o kolik se akustický tlak zvýší před překážkou.



Obr. 11. Zvýšení akustického tlaku na čelní ploše překážky pro různé vlnové délky λ , rozměr překážky a směr dopadu signálu na překážku

Ohyb paprsku šířícího se rozruchu je vlastně důsledkem Huygensova principu, kde každé místo na hraně překážky je zdrojem kulových vln. Složením všech dílčích účinků dostáváme jakoby změnu směru šíření - ohyb paprsku. Velikost odchýlení paprsku od původního směru šíření je závislá na vlnové délce postupujícího signálu a na velikosti překážky. Jev ozřejmí obr. 12, kde je zobrazen průchod zvukové vlny stěnou s otvorem různých velikostí. V případě, že průměr kruhového otvoru je $d \approx \lambda$,



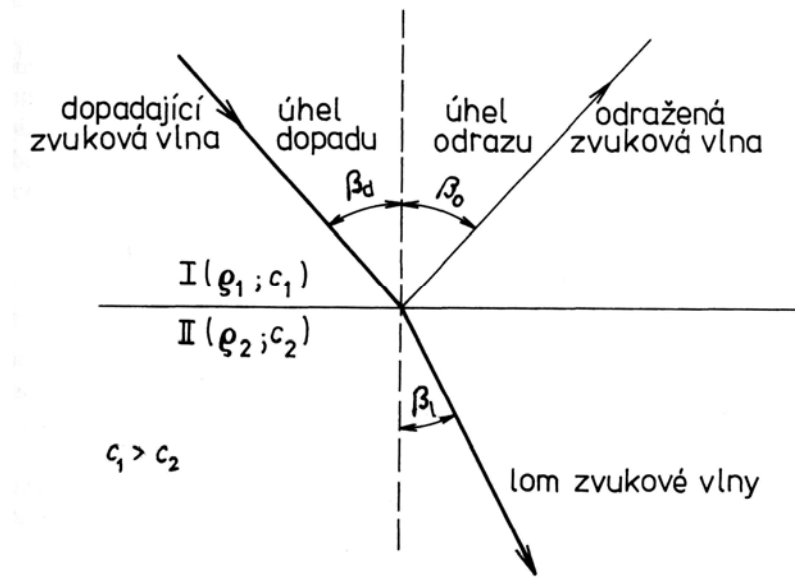
Obr. 12. Průchod zvuku otvory v překážce

projeví se ohyb; je-li otvor příliš malý proti vlnové délce, $d \ll \lambda$, vzniká podle Huygensova principu (nová) kulová vlna. Při $d \gg \lambda$ vlna prochází.

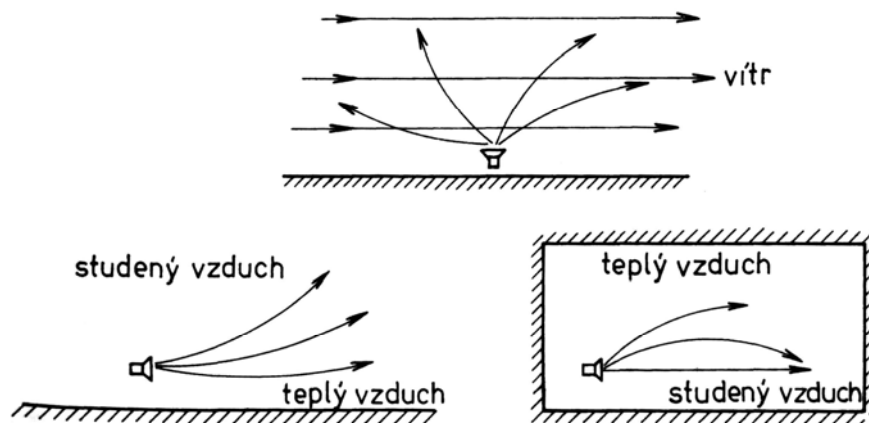
Postupuje-li vlna do jiného prostředí, nastává lom paprsku. Potom platí, že je-li v novém prostředí rychlost šíření větší než v původním prostředí, lomí se směr paprsku od kolmice ke styčné ploše prostředí (obr. 13). Přesáhne-li úhel dopadu určitou hodnotu (tzv. mezní úhel), nastává úplný odraz; např. při přechodu zvuku ze vzduchu do látky s několikanásobně větší rychlostí zvuku (např. voda), dochází k lomu pouze tehdy, dopadá-li zvuková vlna téměř kolmo na povrch nového prostředí. Naopak, vystupuje-li zvuk z takové látky do vzduchu, pak i při různých úhlech dopadu vystupuje zvukový paprsek pouze s malými odchylkami od směru kolmého k rozhraní.

V prostředí s vyjádřenými smykovými napětími (tuhé látky) jsou konstrukce obrazů pole po odrazu, ohybu nebo lomu šílícího se rozruchu a zjištění směrů paprsků šíření podstatně komplikovanější.

Jako odlišné prostředí se projevují i různě prohřáté vrstvy vzduchu a lom zvukového paprsku nastává směrem do chladnějších vrstev vzduchu. To se projevuje jak ve volném prostředí, tak i v uzavřených sálech.



Obr. 13. Lom a odraz zvukového paprsku na rozhraní prostředí s danou hustotou a rychlostí šíření



Obr. 14. Změna směru šíření zvukového paprsku lomem za obvyklých rozložení teplotních vrstev nebo unášením pohybem prostředí.

Při šíření ve volném prostoru může dojít ke změně směru postupující zvukové vlny také unášením částic prostředí pohybem prostředí - větrem (obr. 14). Pro hrubou orientaci lze udat, že přídatný útlum (proti směru větru) nebo zisk (po směru větru) je tolik dB/100 m, kolik desítek m/s je rychlost větru (např. pro 15 m/s uvažujme asi 1,5 dB/100 m).

Pohyb prostředí a zdroje zvuku vyvolává i změnu kmitočtového spektra sledovaného signálu. Je to důsledek Dopplerova jevu, kdy se relativním přibližováním se zdroje zvuku a

pozorovatele jakoby zkracuje vlnová délka zvuku (při vzdalování se prodlužuje), a tím se mění (zvyšuje, příp. snižuje) vnímaný kmitočet. Nejjednodušší případ je při pohybu zdroje zvuku rychlostí v [m/s] přímo proti stojícímu pozorovateli. Pak dochází ke změnám na hodnoty

$$\lambda' = \lambda - v / f \quad [\text{m}; \text{m}, \text{m/s}, \text{Hz}] \quad (21)$$

$$f' = f \cdot (1 + v / c) \quad [\text{Hz}; \text{Hz}, \text{m/S}, \text{m/s}] \quad (22)$$

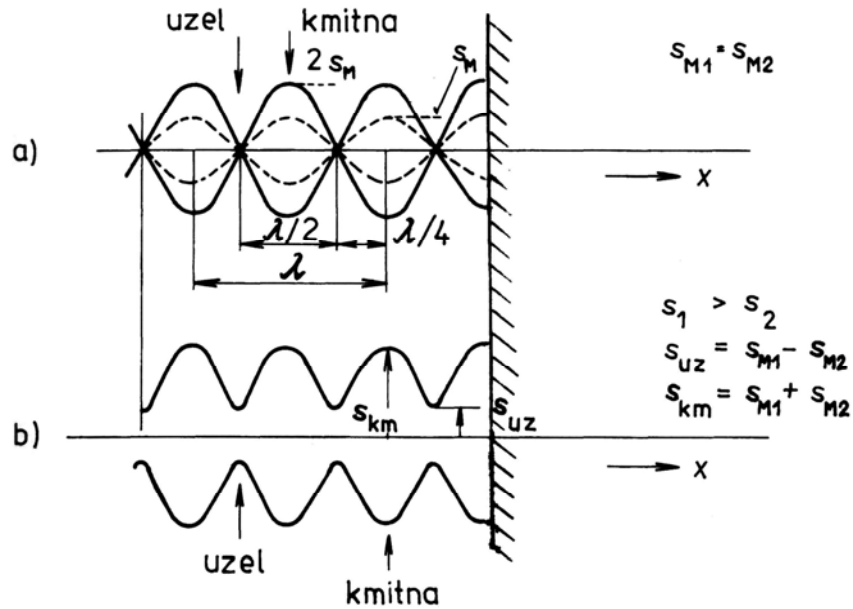
U automobilů (100 km/hod) dochází ke změnám kmitočtu asi 8 % a pro běžná měření to můžeme většinou zanedbat, ale u letadel (rychlost pohybu vůči pozorovateli, uvažovat vektorově!) může při nízkých průletech nastat posun kmitočtů i přes 25 %, a tím dochází k významnější změně spektrální charakteristiky.

Skládáním dvou (nebo více) vlnění vzniká v jednotlivých bodech prostředí výsledný kmitavý pohyb částic prostředí, který je závislý na jednotlivých budících signálech. Tento výsledek nazýváme interferenční vlnění.

Postupují-li proti sobě dvě vlny se stejným kmitočtem (koherentní signály), např. přímá (primární) vlna a proti ní odražená vlna (sekundární, vzniklá odrazem od rozměrné překážky), a mají-li proti sobě stálý fázový posuv, vznikne interferencí stojaté vlnění. U stojatého vlnění zůstávají maxima a minima (kmitny) akustického tlaku i akustické rychlosti stále v určitém místě zvukového pole; uprostřed mezi sousedícím maximem a minimem jsou tzv. uzly. Vzdálenost mezi dvěma sousedícími maximy nebo minimy je rovna vlnové délce interferujících signálů. Přitom na stěně odrážející překážky (a ve vzdálenostech od překážky, rovných násobkům vlnové délky) je vždy maximum akustického tlaku (a akustického zrychlení) a minimum akustické rychlosti (obr. 15). Vzhledem k tomu, že kmitání ve dvou sousedních půlvlnách je s opačnou fází, nastává v určitém časovém okamžiku u jednoho uzlu zhuštění a u sousedícího uzlu zředění. Za dobu poloviny periody je situace opačná.

Pokud má primární i sekundární vlna stejnou amplitudu, vzniká úplné stojaté vlnění. Částečné stojaté vlnění vzniká, jestliže postupují proti sobě dvě vlnění shodně polarizovaná, stejných kmitočtů ale různých amplitud (např. sekundární vlna utlumená pohltivostí odrážející stěny). V tom případě vznikne vlnění, které si můžeme představit jako úplné stojaté vlnění, přes které je superponováno postupné vlnění o rozdílové amplitudě.

Při šíření zvukové vlny prostředím dochází procesy v molekulární oblasti ke ztrátám přenášené energie, které označujeme jako útlum - absorpce; ve vzduchu je závislá především na kmitočtu a na vlhkosti (teplota se podílí zanedbatelnou měrou).



Obr. 15. Průběhy příčného stojatého vlnění úplného (a) a částečného (b)

Závislost je značně komplikovaná, ale pro orientaci i hrubé propočty dostačuje tab. 4.

Tab. 4. Útlum δ šíření zvuku ve vzduchu

Kmitočet [Hz]	Relativní vlhkost	Útlum asi dB/100 m
20	20 .. 80	0,02
500	20 .. 80	0,1
1000	20	0,5
1000	50 .. 80	0,2
2000	20	2,0
2000	50	0,5
2000	80	0,3
5000	20	7
5000	50	3
5000	80	2
10000	20	20
10000	50	10
10000	80	5

Při husté mlze (viditelnost asi pod 50 m) se uvedené útlumy zhruba zdvojnásobují, dešť nebo sněžení není nutné zvlášť uvažovat.

1.4 Hladiny a energetické veličiny

Vzrůst subjektivního sluchového i hmatového vjemu se v zásadě řídí logaritmickým zákonem. Např. akustický tlak slyšitelného rozsahu vjemů přesahuje sedm dekad, což by při vyjádření v jednotkách tlaku [Pa] vedlo k nepraktickému zápisu. Oba tyto důvody vedou k tomu, že jsou vjemové veličiny vyjadřovány v logaritmické stupnici k určité vztažné - referenční hodnotě

$$L_y = 10 \cdot \log(y^2 / y_0^2) = 20 \cdot \log(y / y_0) \quad [\text{dB}] \quad (23a)$$

U energetických veličin, např. výkonu či intenzity, závislých na kvadrátu sledované veličiny, je

$$L_{\text{energ}} = 10 \cdot \log(y_{\text{energ}} / y_0) \quad [\text{dB}] \quad (23b)$$

Pro vztažné či referenční hodnoty používaných veličin (vztažné hodnoty jsou označovány také jako „re xxx“) byly stanoveny tyto hodnoty:

	vztažná hodnota
akustický tlak	$2 \cdot 10^{-5}$ [Pa]
akustický výkon	$1 \cdot 10^{-12}$ [W]
akustická intenzita	$1 \cdot 10^{-12}$ [W/m ²]
výchylka kmitavého pohybu - <i>nestandardizováno</i> ,	$1 \cdot 10^{-9}$ [m]
rychlost kmitavého pohybu	$1 \cdot 10^{-9}$ [m/s]
zrychlení kmitavého pohybu	$1 \cdot 10^{-6}$ [s ⁻²]
síla	$1 \cdot 10^{-6}$ [N]

Tak je hladina akustického tlaku L_p dána vztahem

$$L_p = 20 \cdot \log(p / p_0) = 20 \cdot \log p + 94 \quad [\text{dB}] \quad (24)$$

a naopak platí

$$p = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{L_p/20} = 10^{(L_p-94)/20} \quad (25)$$

Převod mezi hladinou akustického tlaku a akustickým tlakem je v tab. 5, kde se číselné hodnoty podrobnějšího stupňování mezi 100 dB a 120 dB opakují ve všech dvacetidecibellových krocích s příslušným řádovým násobitelem.

Výkon kmitavého děje W [W] v ustáleném stavu je definován jako práce vykonaná za jednotku času, kde práce je součinem síly a dráhy. Pro diferenciálně malé časové úseky je okamžitý výkon dán součinem působící síly a rychlosti v [m/s]. Poněvadž je akustický tlak definován silou působící na jednotkovou plochu, můžeme vyjádřit akustický výkon vztahem

$$W = p \cdot v \cdot S = I \cdot S \quad [\text{W}; \text{Pa}, \text{m/s}, \text{m}^2; \text{W/m}^2, \text{m}^2] \quad (26)$$

kde S [m²] je sledovaná plocha.

Tab. 5. Pro přepočty hladin akustického tlaku a intenzity

Hladina L_p, L_i, L_w [dB]	Akustický tlak p [Pa]	Kvadrát akustické- ho tlaku	Ak. int. I [W/m ²] Ak. výk. W [W]
0	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-10}$	$1,0 \cdot 10^{-12}$
10	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-11}$
20	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-10}$
30	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$
40	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$
50	$6,3 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$
60	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$
70	$6,3 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
80	0,200	0,04	$1,0 \cdot 10^{-4}$
90	0,632	0,4	$1,0 \cdot 10^{-3}$
100	2,00	4	0,01
101	2,243	5,036	0,0126
102	2,518	6,340	0,0158
103	2,825	7,981	0,0200
104	3,170	10,048	0,0251
105	3,557	12,649	0,0316
106	3,991	15,924	0,0398
107	4,477	20,047	0,0501
108	5,024	25,238	0,0631
109	5,637	31,773	0,0794
110	6,325	40	0,1
111	7,096	50,36	0,126
112	7,962	63,40	0,158
113	8,934	79,81	0,2
114	10,02	100,48	0,251
115	11,25	126,49	0,316
116	12,62	159,24	0,398
117	14,16	200,5	0,501
118	15,89	252,4	0,631
119	17,82	317,7	0,794
120	20,00	400	1
130	63,25	4000	10
140	200	$4 \cdot 10^4$	100
150	632,5	$4 \cdot 10^5$	1000
160	2000	$4 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^4$

Střední akustický výkon při sinusovém průběhu upravíme na tvar

$$W = p_{ef} \cdot S \cdot v_{ef} \cdot \cos \varphi \quad [W; Pa, m^2, m/s, rad] \quad (27)$$

kde φ je fázový posun mezi akustickým tlakem a akustickou rychlostí.

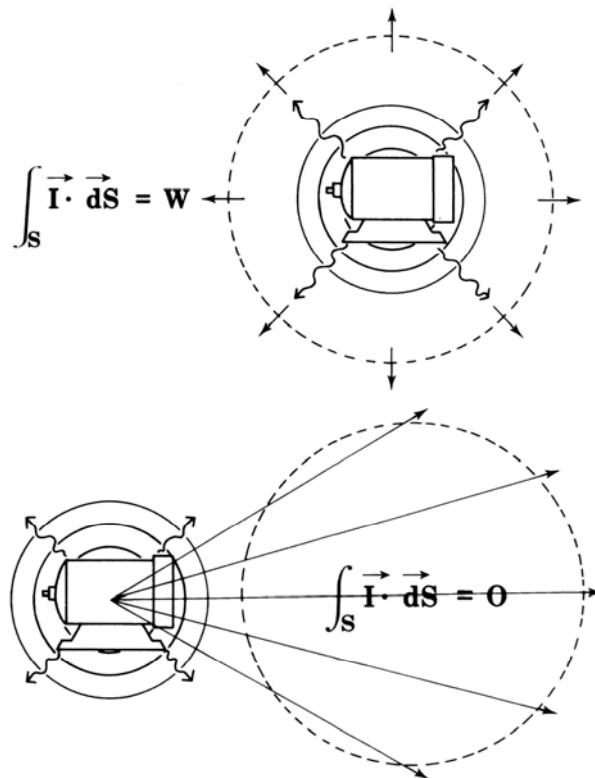
Akustická intenzita I [W/m^2] je vektor a je definována jako tok akustické energie v daném směru a smyslu plochou kolmou k tomuto směru, vztažený na jednotku plochy. Z této definice je zřejmý i její vztah k akustickému výkonu

$$W = \int_S I \cdot dS \quad [\text{W}] \quad (28)$$

Z tohoto vztahu vychází řada měřících metod. Zvolíme-li S jako jednoduchou uzavřenou plochu obepínající objem V , pak minulý vztah přejde na tvar uzavřeného plošného integrálu

$$W = \oint_S I \cdot dS \quad [\text{W}] \quad (29)$$

Tento vztah říká, že akustický výkon vyzářený uvnitř uzavřené plochy S získáme integrací přes tuto plochu, bez ohledu na uspořádání a typ zdrojů, které se uvnitř objemu nacházejí. Zdroje, které se nacházejí vně této plochy, k výslednému výkonu nepřispívají, obr. 16.



Obr. 16. Akustická intenzita procházející zcela uzavřenou plochou, je-li zdroj hluku uvnitř sledovaného prostoru (a) nebo vně (b)

Pojem akustické intenzity ve smyslu hustoty toku akustické energie zavedl již lord Rayleigh ve svém díle „The Theory of Sound“. Její zavedení do praktické akustiky přišlo ale až

po roce 1977, kdy vývoj digitální elektroniky umožnil její měření. Dnes jsou již intenzitní metody běžné ve většině oborů akustiky a stále více nahrazují metody založené na měření akustického tlaku. Jako příklad aplikací je možno uvést: měření akustického výkonu, lokalizace zdrojů zvuku, měření pohltivosti a akustické impedance, měření vzduchové neprůzvučnosti atd.

Pro ustálený stav lze pro akustickou intenzitu zpětně dovodit

$$I = W / S = p_{ef} \cdot v_{ef} \cdot \cos \varphi \quad [\text{W/m}^2; \text{W, m}^2] \quad (30)$$

Také akustickou intenzitu vyjadřujeme v logaritmické míře, kde vztažná hodnota je $I_0 = 1 \cdot p \cdot W / m^2 = 1 \cdot 10^{-12} [\text{W} / m^2]$, tedy

$$L_I = 10 \cdot \log(I / I_0) = 10 \cdot \log I + 120 \quad [\text{dB}] \quad (31)$$

naopak

$$I = I_0 \cdot 10^{L_I / 10} = 10^{(L_I - 120) / 10} \quad [\text{W/m}^2] \quad (32)$$

Podobně pro akustický výkon L_w platí při vztažné hodnotě $W_0 = 1 \cdot 10^{-12} \text{ W}$

$$L_w = 10 \cdot \log W + 120 \quad W = W_0 \cdot 10^{L_w / 10} \quad (33)$$

Číselné hodnoty hladin akustické intenzity jsou také udány v tab. 5, a všimněme si, že číselná hodnota hladiny akustického tlaku, hladiny akustické intenzity i hladiny akustického výkonu si v decibelovém vyjádření odpovídají.

Ze vztahů (23) a (47) a obr. 17 vyplývá, že zdvojnásobení akustického tlaku, rychlosti nebo zrychlení znamená vzrůst odpovídající hladiny o + 6 dB, zdvojnásobení akustické intenzity nebo výkonu (tj. energetických veličin) znamená vzrůst odpovídající hladiny o + 3dB (vztahy (31) a (33)).

V některých případech je důležitou veličinou i hustota zvukové energie $w[\text{J/m}^3]$ a vlnový odpor prostředí, který je pro vzduch označen $z_0 = 407 [\text{Pa.s/m}]$ (pro 20 °C, nor. atm. tlak). Tyto veličiny jsou s ostatními vázány pro velké vzdálenosti od zdroje zvuku (kde $\cos \varphi = 1$) vztahy (efektivní hodnoty)

$$z_0 = p/v = c \cdot \rho \quad (\rho \text{ je hustota prostředí}) \quad (34)$$

$$p = v \cdot z_0 = v \cdot \rho \cdot c; \quad v = p/z_0 = p/(\rho \cdot c) \quad (35)$$

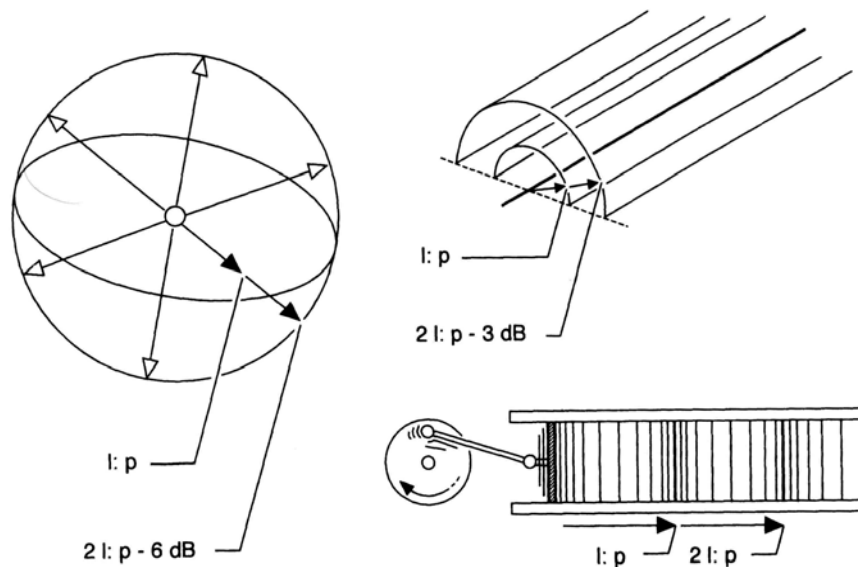
$$W = p \cdot v \cdot S = I \cdot S = S \cdot v^2 \cdot z_0 = S \cdot p^2 / z_0 = S \cdot p^2 / (\rho \cdot c) \quad (36)$$

$$I = W/S = p \cdot v = z_0 \cdot v^2 = p^2 / z_0 \quad (37)$$

$$w = I/c \quad (38)$$

Pro volné zvukové pole je

$$w_v = W/(c \cdot S) \quad (39)$$



Obr. 17. Pokles akustického tlaku na zdvojnásobení vzdálenosti

a v difuzním zvukovém poli je

$$w_d = 4 \cdot W / (c \cdot A) \quad (40)$$

kde A [m^2] je celková pohltivost prostoru.

Pokud akustický tlak p a akustická rychlost v mají proti sobě fázový posun, určuje jejich poměr tzv. akustickou vlnovou impedanci (vlnovou impedanci prostředí)

$$z = p/v \quad [\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^3] \quad (41)$$

Pro informaci uveďme přibližné akustické výkony W [W] různých typických zdrojů zvuku v tab. 6.

Tab. 6. Akustické výkony W [W] typických zdrojů zvuku

Slabý šepot, šum v tichém lese	$1 \cdot 10^{-10} \dots 1 \cdot 10^{-9}$
Hovorová řeč, panelový byt ve dne	$1 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-5}$
Luxování, hlasitá řeč	$5 \cdot 10^{-4} \dots 2 \cdot 10^{-3}$
Křik, bruska, píšťalka	$1 \cdot 10^{-2} \dots 0,1$
Kovářská dílna, textilka	0,5 ... 1
Symfonický orchestr, fortissimo	5 ... 15
Trysková stíhačka	$\approx 10\ 000$
Veliké dopravní letadlo (jumbojet)	$\approx 50\ 000$
Kosmická raketa	$\approx 50\ 000\ 000$

Sčítání signálů je zásadně rozdílné pro signály koherentní a nekoherentní. Součet dvou jednoduchých signálů se stejným kmitočtem, tedy signálů koherentních, dává opět jednoduchý signál, jehož amplituda závisí nejen na amplitudách jeho složek, ale i na jejich vzájemné fázi. Jsou-li oba signály ve fázi, může zvýšení hladiny akustického tlaku dosáhnout hodnoty 6 dB. Působí-li naopak v protifázi, mohou se signály vyrušit, ale prakticky jen v určitém ohraničeném místě prostoru, kde skutečně souhlasí amplituda i fáze signálů. U složených signálů je vyrušení zvuku možné spíše jen teoreticky, neboť by musely souhlasit amplitudy, kmitočty i fáze v celém prostoru, kde chceme vyrušení dosáhnout (akustické „perpetuum mobile“). Výsledná hodnota akustického tlaku dvou jednoduchých, koherentních signálů je dána vztahem

$$p_c = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2 \cdot p_1 \cdot p_2 \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2)} \quad (42)$$

Není snad třeba zvláště zdůrazňovat, že při součtu dvou kmitočtově velmi blízkých signálů, vznikají zázneje, které mohou dosáhnout amplitud vyplývajících ze vztahu (42).

U nekoherentních signálů, tj. signálů, které nemají shodné kmitočty složek, můžeme použít daleko jednoduššího sčítání energetického. Pro praktické postupy tento způsob dostačuje, i když je jasné, že se interferencemi vytváří daleko složitější pole. V praxi se však skoro vždy jedná o signály nekoherentní, kde je výsledná akustická intenzita dána součtem jejich intenzit (celková hodnota má index c)

$$I_c = \sum_{i=1}^n I_i \quad (43)$$

nebo v hladinovém vyjádření

$$10 \cdot \log(I_c / I_0) = 10 \cdot \log\left(\sum_{i=1}^n (I_i / I_0)\right) \quad (44)$$

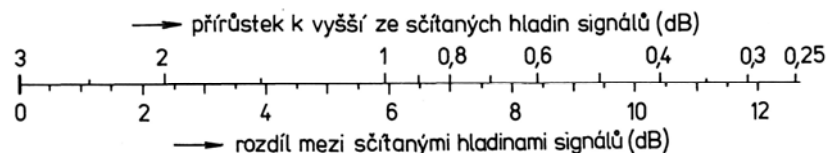
Dosadíme-li za intenzity akustické tlaky, platí

$$L_c = 20 \cdot \log(p_c / p_0) = 10 \cdot \log\left(\sum_{i=1}^n (p_i^2 / p_0^2)\right) = 10 \cdot \log\left(\sum_{i=1}^n (10^{L_i/10})\right) \quad (45)$$

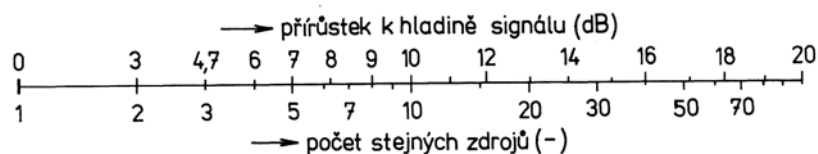
Výpočet výrazů mocnin deseti je bez kalkulátoru pracný a pro rychlou orientaci pomůže obr. 18. Součet řady signálů získáme postupným sčítáním prvotního výsledku s dalším signálem.

Máme-li stanovit součet n signálů o stejné intenzitě nalezneme výsledek pomocí obr.19. nebo pomocí vztahů $L_c = L + 10 \cdot \log n$, příp. $p_c = p \cdot \sqrt{n}$. Dva stejné zdroje zvýší hladinu o 3 dB, tři o 4,8 dB, čtyři o 6 dB atd.

Opačným způsobem, než byl vytvořen součet, můžeme získat rozdíl hladin, tj. hladinu jednoho z působících signálů, známe-li hladinu výsledného signálu a hladiny zbývajících signálů, pak platí při $n \gg i$



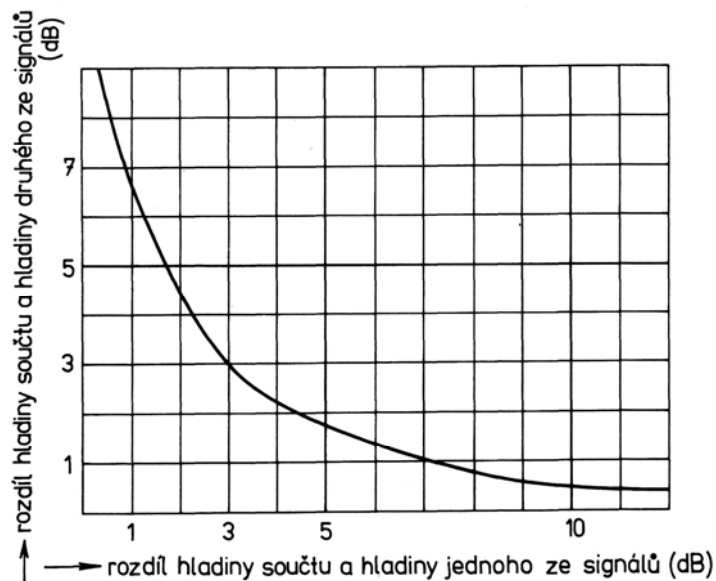
Obr. 18. Nomogram pro sčítání hladin nekoherentních signálů



Obr. 19. Nomogram pro určení hladiny při n zdrojích

$$L_i = 10 \cdot \log(10^{L_c/10}) - \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \quad (46)$$

Tento výpočet lze nahradit odečtením rozdílu hodnot z obr. 20.



Obr. 20. Pro určování hladin složkových signálů

1.5 Zdroje zvuku a akustická pole

Ve volném prostoru se vytváří různá typická zvuková pole podle typu zdroje zvuku.

Fyzikálně nejjednodušším zdrojem zvuku je pulzující („dýchající“) koule; takovýto zdroj se nazývá monopol, unipól nebo kulový zářič či zářič nultého řádu. Pulzující koule vyzařuje akustickou energii do všech směrů se stejnou amplitudou a fází, a vytváří tak zvukové pole kulových vln. Akustická intenzita klesá s druhou mocninou vzdálenosti l [m] od zdroje, akustický tlak v poli kulových vln klesá úměrně se vzdáleností. Pro přepočítání hodnot v akustickém poli z bodu 1 do bodu 2 platí pro akustický tlak, akustickou rychlost a akustickou intenzitu

$$p_2 = p_1 \cdot (l_1 / l_2) \quad v_2 = v_1 \cdot (l_1 / l_2) \quad I_2 = I_1 \cdot (l_1 / l_2)^2 \quad (47)$$

a v hladinovém vyjádření

$$L_2 = L_1 + 20 \cdot \log(l_1 / l_2) \quad (48)$$

Jako kulový zářič se chová většina zdrojů zvuku; ve větší vzdálenosti se tak chovají i celé „soustavy“ zdrojů zvuku, tj. celé stroje, a ve vzdálenosti relativně k rozměrům i např. celá továrna.

Šířící se kulová zvuková vlna se se zvětšujícím poloměrem kulových vln změní ve veliké vzdálenosti od zdroje zvuku (je-li vlnová délka vyzařovaného signálu zanedbatelně malá proti poloměru postupující vlnoplochy) ve zvukovou vlnu rovinnou (nebo přesněji v kvazi-rovinnou). Pole rovinných zvukových vln vzniká před plošným zářičem, jehož rozměr je daleko větší než délka vlny vyzařovaného zvuku. Postupující rovinné zvukové vlny se nemění, nemění se tedy ani plocha jejich vlnoploch, a proto se nemění se změnou vzdálenosti od zářiče ani akustická intenzita a akustický tlak.

$$p_2 = p_1 \quad v_2 = v_1 \quad I_2 = I_1 \quad L_2 = L_1 \quad (49)$$

Rovinnou vlnu lze nalézt např. postupovat v uzavřené trubici, do které je zvuková vlna vysílána. Tak můžeme např. zjistit, že měřená hladina zvuku je na začátku i konci dlouhého tunelu prakticky stejná, pokud neuvažujeme útlum absorpcí; využívají toho tzv. trubkové „telefony“.

Kmitá-li soufázově nekonečná řada bodových zdrojů, šíří se akustická energie do všech směrů kolmých na řadu bodových zdrojů a vytvářejí se válcové zvukové vlny. Takový zdroj zvuku nazýváme také liniový zdroj („dýchající žížala“). Veličiny akustického pole se mění se vzdáleností od osy zářiče podle vztahů

$$p_2 = p_1 \cdot \sqrt{l_1/l_2} \quad v_2 = v_1 \cdot \sqrt{l_1/l_2} \quad I_2 = I_1 \cdot (l_1/l_2) \quad (50)$$

a v hladinovém vyjádření

$$L_2 = L_1 + 10 \cdot \log(l_1/l_2) \quad (51)$$

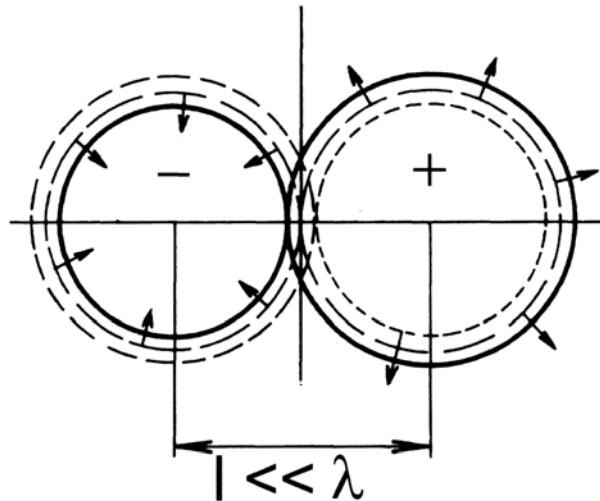
Liniový - přímkový zdroj vytváří např. hustě jedoucí proud automobilů po silnici nebo dlouhý vlak. Přehled vlastností zdrojů zvuku a akustických polí je v tab. 7.

Tab. 7. Zdroje zvuku a jejich akustické pole

ZÁŘIČ	BODOVÝ	PŘÍMKOVÝ	PLOŠNÝ	JAKÝKOLIV, v uzavřeném prostoru v dostatečné vzdálenosti od zdroje zvuk
ak. vlna	kulová	válcová	rovinná	
zdroj zvuku	pulsující koule	soufáz. pulsující řada	kmitající rovina	
směr šíření	od zdroje do všech stran	do všech směrů kolmých na osu	kolmo na kmitající rovinu	náhodný
vlnoplochy	kulové	válcové	rovinné	nedefinované
plocha S vlnoploch	zvětšuje se s		nemění se	nelze určit
	r^2	r		
ak. výkon na vlnopl.	konstantní W [W]			konst. hustota ak. energie
ak. intenzita I ve směru šíření	$I \approx \text{konst}/r^2$ ($I = W/S$) [W/m ²]	pro $r \ll l$ je $I \sim \text{konst}/r$; pro $r \geq l$ jako \approx bodový	$I = \text{konst.}$	$I = \text{konst.}$ a stejná ve všech směrech
ak. tlak při $r > \lambda$,	$p \sim 1/r$	$p \sim \sqrt{1/r}$	$p = \text{konst.}$	$p = \text{konst.}$
pokles akust. tlaku	$p_2 = p_1 \cdot r_1/r_2$ pro $\lambda < r$	$p_2 = p_1 \cdot \sqrt{r_1/r_2}$ pro $\lambda < r < l$	$p_2 = p_1$	$p_2 = p_1$
L_2 [dB] = pokles hl. se vzdál.	$= L_1 - 20 \cdot \log(r_2/r_1)$	$= L_1 - 10 \cdot \log(r_2/r_1)$	$= L_1$	$= L_1$
pokles hl. na dvojnásobek r	6 dB pro $r > \lambda$	3 dB pro $\lambda < r < l$	0 dB	0 dB
vln. imped.	p/v	p/v	c. ρ	c. ρ
fázový posun mezi akustickým tlakem a rychlostí:				neurčitý
na povrchu pro $r \gg X$ pro $r \gg X$,	$90^\circ = \pi/2$ $\text{arctag}(\lambda/2\pi r)$ $\approx 0^\circ$	$45^\circ = \pi/4$ $\text{arctag}(\lambda/4\pi r)$ $\approx 0^\circ$	$0^\circ \ 0^\circ \ 0^\circ$	
hustota ak. energie	$w_v = W/(c.S) = I/c$ [J/m ³]			$w_d = 4.W/(A.c)$ A [m ²] = celk. plohlitvost
r[m] = vzdálenost od zářiče, poloměr vlnoploch; λ = vlnová délka; l[m] = délka přímkového zářiče; c[m/s] = rychlost šíření; p[Pa] = ak. tlak; v[m/s] = ak. rychlost; ρ [kg/m ³] = hustota prostředí				

Ve strojních konstrukcích nalezneme v určitých případech dvojici si blízkých součástek, které kmitají proti sobě. Lze na ně pohlížet jako na dva bodové zářiče pulzující v protifázi (obr. 21). Takový zářič označujeme za akustický zdroj prvního druhu, nebo také jako akustický dipól. Oba unipóly interferencí svých zvukových polí vytvářejí směrově závislé zvukové pole, které můžeme znázornit dvěma kulovými plochami, dotýkajícími se svým povrchem v místě, kde se dipól nachází, a orientované ve směru spojnice obou zářičů. Ve

směru dipólu je vyzařování nejúčinnější, do roviny procházející středem dipólu a kolmé na jeho osu je vyzařování teoreticky nulové. Pokles akustického tlaku v ose dipólu je se vzdáleností z počátku 6 dB na zdvojnásobení vzdálenosti, tedy jako u kulového zářiče, ale ve větších vzdálenostech (kdy vzdálenost unipólů je zanedbatelně malá proti vzdálenosti od dipólu) narůstá až na 12 dB na zdvojnásobení vzdálenosti.



Obr. 21. Akustický dipól - zářič s osmičkovou vyzařovací směrovou charakteristikou

Při souhře mnoha zdrojů zvuku nastávají, i ve volném prostoru, velmi složitá zvuková pole jako výsledek interferencí mezi jednotlivými zářiči, kde neplatí jednoduché vztahy mezi vzdáleností, akustickým tlakem a akustickou intenzitou.

V uzavřených prostorech se může vytvořit některý z typů dříve uvedených akustických polí pouze tehdy, pokud se neuplatní odrazy postupující - primární vlny od stěn prostoru nebo překážek. Vyjádřený typ akustického pole se tedy může vytvořit jen do určité vzdálenosti od zdroje zvuku, protože ve větších vzdálenostech se uplatní i odražené - sekundární vlny, které primární vlnu překrývají. Mnohonásobné odrazy vytvoří akustické pole odražených vln, v němž nelze určit, kterým směrem se zvuková energie šíří; směr šíření je náhodný

a stále se měnící, a nelze proto definovat žádnou vlnoplochu. Takové pole nazýváme pole difúzní a za hranici mezi polem volným a difúzním označujeme vzdálenost, ve které hustota akustické energie volného pole se rovná hustotě akustické energie difúzního pole (vzta-

hy (39) a (40)). Je samozřejmé, že se odražené signály uplatňují jistým způsobem i ve volném poli, tj. v poli postupujících přímých vln.

I v uzavřeném prostoru vzniká u rozměrnějších zdrojů zvuku (stroj, vibrující stěna apod.) v jejich přímé blízkosti interferencí tzv. blízké pole (nazývané také Fresnellův prostor), sahající až do vzdálenosti kdy $2\pi f \cdot l/c < 1$. Teprve ve větší vzdálenosti se vytvoří jakoby skutečně volné pole.

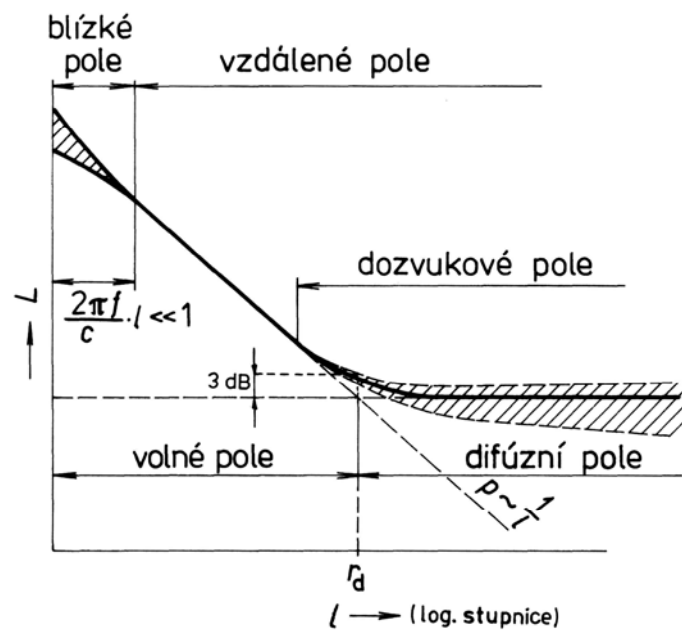
V uzavřených prostorách se uplatňují odražené signály vždy, ale pokud hustota akustické energie odražených vln není alespoň srovnatelná s hustotou akustické energie primárních vln, hovoříme i v uzavřeném prostoru o volném poli. Teprve při dalším zvětšování vzdálenosti od zdroje se vytvoří difúzní pole. Část v uzavřeném prostoru, kdy jsme dostatečně vzdáleni od zdroje, aby se nejednalo o blízké pole označujeme jako vzdálené pole (obr. 22). Někdy je definováno ještě tzv. dozvukové pole, tj. pole, kde se poslechově uplatňují odražené signály. Dozvukové pole zasahuje oblast širší, než je oblast difúzního pole a jeho hranice není fyzikální, ale je určena postřehnutelností odražených signálů. Tuto hranici označujeme jako dozvukovou vzdálenost (nebo poloměr doznívání) r_d [m] a závisí na celkové pohltivosti prostoru A [m²] nebo na době dozvuku T [s] a objemu prostoru V [m³] vztahy

$$r_d = 0,14 \cdot \sqrt{A} = 0,057 \cdot \sqrt{V/T} \quad (52)$$

Při měřeních si musíme být jasně vědomi, a některé z metodik měření to striktně předepisují, ve které části zvukového pole se v uzavřeném prostoru nalzáme. Ve Fresnellově prostoru a v difúzním poli totiž není poměr akustického tlaku a akustické rychlosti roven vlnové impedanci, a proto neplatí ani mnohé z běžně uváděných a při výpočtech používaných vztahů.

Dozvukové pole nalezneme v každém, i jen částečně uzavřeném prostoru (např. ulice s vysokými okolními domy), ale neznamená to ještě, že se v každém takovém prostoru vytvoří

i difúzní pole. Pokud lze v dozvukovém poli určit směr šíření akustické energie a vyznačit postupující vlnoplochy, můžeme sice nalézt oblasti, kde jsou porovnatelné i hustoty akustické energie, nejde však o jasně ohraničenou oblast a v uvažované oblasti existují místa, kde lze měřením prokázat směr šíření akustické energie, a proto to není pole difúzní. [1]



Obr. 22. Typy akustických polí v uzavřeném prostoru

2 SOUČASNÝ ZPŮSOB MĚŘENÍ AKUSTICKÝCH VELIČIN

2.1 Dvumikrofonová impedanční trubice Brüel & Kjaer typ 4206

Tato trubice je používána ke zjišťování koeficientu zvukové pohltivosti, koeficientu zvukové odrazivosti pro malé vzorky. Skládá se ze dvou trubic o průměru 100 a 29 mm umožňující měření ve frekvenčním rozsahu od 50 Hz do 1.6 kHz a od 500 Hz do 6.4 kHz. Pro samotnou analýzu využívá dvoukanálový signální analyzátor Brüel & Kjaer typ 2034 a aplikační software BZ5050 zabezpečující jednoduchou obsluhu prostřednictvím PC.



Obr. 23. Dvumikrofonová impedanční trubice Brüel & Kjaer typ 4206

2.2 Dvoukanálový signální analyzátor Brüel & Kjaer typ 2034

Přístroj je založen na Fourierově transformaci, umožňuje složité zpracování a analýzu signálů v reálném čase a v kmitočtovém rozsahu od 0 Hz do 25.6 kHz. V kombinaci s dvumikrofonovou impedanční trubicí Brüel & Kjaer 4206 slouží ke zjišťování absorpčních charakteristik materiálů a v kombinaci se zdrojem vibrací Brüel & Kjaer 4810 slouží k popisu tlumících charakteristik a určování komplexního modulu pružnosti různých materiálů. [8]



Obr. 24. Dvoukanálový signální analyzátor Brüel & Kjaer typ 2034

Výsledkem

- textový soubor na připojeném PC, který obsahuje závislost koef. pohltivosti na frekvenci.
- výstup na liniový zapisovač např. mikroprocesorový liniový zapisovač LOGOLINE 500

2.3 Mikroprocesorový liniový zapisovač LOGOLINE 500

Liniový zapisovač pracuje až se třemi měřícími kanály, které jsou galvanicky oddělené. Pro každý měřící kanál je možno použít ještě údaje v textové podobě. Mezní nastavené hodnoty lze hlídat pomocí zvukové signalizace. Měřené veličiny lze odečíst přímo na stupnici přístroje. K programování slouží 4-místný display. Obsluha přístroje se provádí pomocí šesti tlačítek umístěných na čelní straně přístroje. Veškerá konfigurační data jsou uložena

v paměti EEPROM a zůstávají tudíž zachována i při výpadku napájecího napětí. Hodiny reálného času jsou při výpadku sítě napájeny z lithiové baterie nebo napěťového kondenzátoru.

Vstupní signály mohou být použity jen unifikované proudové nebo napět'ové a musejí být předem definovány.



*Obr. 25. Mikroprocesorový liniový zapisovač
LOGOLINE 500*

- Měření a záznam až tří fyzikálních veličin různých rozsahů.
- Univerzální provedení pro připojení napětí, proudu, odporu a běžných odporových a termoelektrických čidel.
- Osm logických vstupů pro ovládací funkce.
- Limitní komparátory.
- Nastavení všech parametrů přístroje pomocí tlačítek nebo programu.
- Uživatelská linearizace.
- 4 nebo 24 místný LED displej.
- Stupeň krytí IP 54 z čelní strany.

3 VÝVOJ VLASTNÍ APLIKACE AKUBAK_06

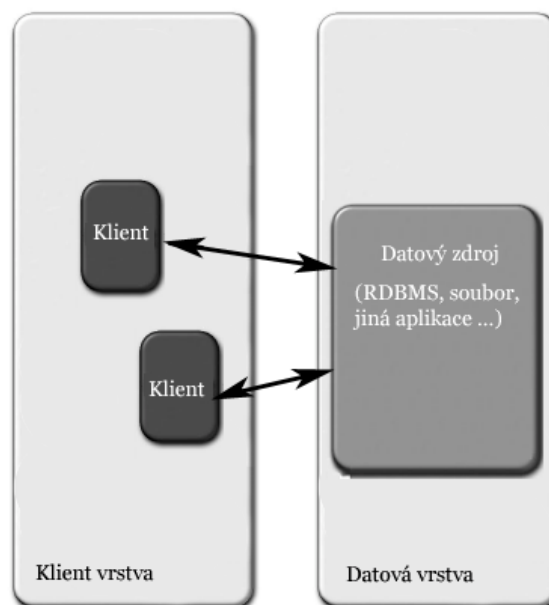
3.1 Třívrstvá architektura

3.1.1 Úvod

Ač vědomě či nevědomě se s produkty postavenými podle moderního scénáře business aplikací, též nazývaného třívrstvá architektura, setkáváme na každém kroku. Nevěříte, tak si položte otázky, jestli jste někdy používali online shop, elektronickou rezervaci hotelu, letenky či ubytování nebo jste využili servis některého zpravodajského portálu. Pokud je vaše odpověď ano, pak jste s pravděpodobností hraničící s jistotou, narazili na třívrstvou, někdy též nazývanou vícevrstvou, architekturu.

3.1.2 Proč tři a ne dvě?

Model třívrstvé architektury je přímou evolucí, z dnešního pohledu již koncepčně zastaralé, dvouvrstvé architektury. Dvouvrstvá architektura vychází z vrstvy klientské a vrstvy datové, jak ukazuje následující obrázek.

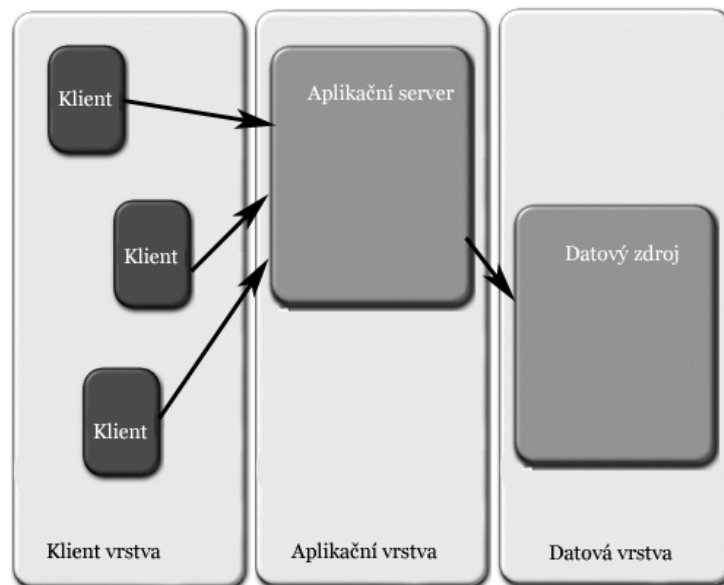


Obr. 26. Model dvouvrstvé architektury

Klient obsahuje většinu aplikační logiky, se kterou pracuje přímo nad datovým zdrojem. V mnoha scénářích je zdroj dat reprezentován relační databází a klient využívá jazyk SQL pro práci s daty. Mezi další typy datového zdroje patří soubory a nebo jiné aplikace např. informační systémy.

Nevýhody tohoto modelu se ukázaly při vzrůstající komplexnosti klientských aplikací. Se složitostí aplikací vzrůstaly výkonové nároky na klientské počítače což byl jeden faktor. Další faktory přímo vyplynuly z masivního rozšíření aplikací, softwarové firmy byly nuceny pružně reagovat na poptávku a tím pádem se snažit operativně plnit přání zákazníků. Z těchto business procesů byly definovány požadavky na budoucí aplikace. Například nutnost sdílení zdrojů, omezení datového přenosu atd., díky kterým se začalo uvažovat o architektuře, která by tyto požadavky pokryla.

Řešení se našlo v podobě přidání třetí - střední vrstvy (middle tier). Samozřejmě se nejednalo pouze o přidání vrstvy, bylo nutno specifikovat jednotlivé vrstvy resp. jejich role v architektuře. Třívrstvou architekturu znázorňuje následující obrázek.



Obr. 27. Model třívrstvé architektury

3.1.3 Staronový význam jednotlivých vrstev

S přechodem na třívrstvou architekturu se posunul i význam jednotlivých vrstev, nejmarkantněji se to projevilo u vrstvy klientské. Díky nově definované aplikační vrstvě bylo možné aplikační logiku, která do té doby ležela na klientu, přesunout na aplikační server. Díky tomuto tahu se klientům značně ulevilo neboť veškerý výpočetní výkon byl přesunut na výkonné servery.

Díky přesunutí aplikační logiky na jedno místo bylo možné dosáhnout jejího sdílení a lepší správy a dostupnosti. Aplikační vrstva prezentovaná aplikačním serverem mohl a nabídnout služby v podobě rozložení zátěže (load balancing) či výpadku (fail over). Významnou měrou se podařilo redukovat datový přenos, jehož těžiště se přesunulo na trasu mezi aplikačním serverem a datovým zdrojem. Spojení aplikačního serveru a datového zdroje bylo možno realizovat vhodným přenosovým připojením. Snížení datového přenosu přímo ovlivnilo rychlost odezvy klientů a umožnilo jejich připojení na linkách s omezenou přenosovou rychlostí .

3.1.4 Tenký a Tlustý klient

Takto "očesaní" klienti možná zavedli příčinu k jejich pojmenování na tenké klienty (thin client) . Obecně byla ovšem klientská vrstva definována jako vrstva, která je určena pouze k prezentaci dat uživateli. Tenký klient je proto takový klient, který neobsahuje žádnou aplikační logiku. Aplikační logiku mu zprostředkuje aplikační server, ke kterému tenký klient přistupuje. Naopak tlustý klient, v dvouvrstvě modelu pouze klient, obsahuje většinu aplikační logiky. Ve skutečnosti i tenký klient musí nějakou aplikační logiku obsahovat, ale oproti tlustému klientu je to naprosto zanedbatelná část.

3.1.5 Datová vrstva

U datové vrstvy též nazývané backend nedošlo v třívrstvě modelu k žádnému posunu. Tato vrstva slouží jako datová základna a lhostejno jestli je v pozadí relační databáze, souborový systém, webová služba či jiná aplikace.

3.1.6 Aplikační vrstva

Jak již bylo vzpomenuo o pár odstavců výše, aplikační vrstva v podstatě tvoří skořápku pro aplikační logiku. Tato vrstva resp. aplikační logika zajišťuje přístup k datům, práci s

daty

a z jejich vystavení ve vhodném formátu (XML, HTML) pro klient vrstvu. Z pohledů doby zaznamenala aplikační vrstva právě nejbouřlivější vývoj. Jako nejjednodušší realizaci aplikační vrstvy můžeme považovat webový server s CGI rozhraním, jehož pomocí se volaly výkone rutiny prezentované spustitelnými soubory a později serverovými skripty.

Komplexnost aplikační vrstvy vedla k jejímu dalšímu rozdělení na vrstvy. Toto rozčlenění pomohlo definovat odpovědnosti jednotlivých vrstev v rámci aplikační vrstvy. Vrstvy jsou definovány jako prezentační (presentation), aplikační (business) a datová (persistence). Na pomezí těchto vrstev leží například MVC (Model View Controller), ORM atd., ale o tom v příštím díle. Samozřejmě pokud bude zájem

3.2 Základy OOP ve VB.NET

3.2.1 Základní pojmy z OOP

Každý objekt má nějaká data, která zapouzdřuje. Tato data si může buď interně schraňovat sám pro sebe, nebo je ponechá viditelná i svému okolí. Z okolí dostupná data objektu se označují jako jeho vlastnosti. Vlastnosti (data) mohou být okolím objektu vnímány několika různými způsoby jako

- vlastnosti určené pouze ke *čtení* - v tom případě může okolí objektu hodnotu z vlastnosti pouze přečíst bez možnosti její změny.
- vlastnosti určené ke *čtení i zápisu* - v tomto případě může okolí objektu hodnotu z příslušné vlastnosti nejen přečíst, ale též ji změnit, takže objekt sám bude nadále uchovávat a nabízet novou hodnotu vlastnosti.
- vzácně pak jako vlastnosti určené pouze k *zápisu* - v tomto případě může okolí do vlastnosti objektu pouze nastavovat nové hodnoty, které objekt sám bude interně nadále uchovávat, ale nemůže tyto hodnoty z vlastnosti číst.

Příklad:

Náš objekt vypínače má také své typické vlastnosti. Nejdůležitější vlastností je Stav, která může nabývat dvou hodnot: vypnuto a zapnuto. Stav je zvenku nenastavitelný, je obrazem vnitřního stavu našeho objektu, a proto se jedná o vlastnost určenou pouze pro čtení. Dru-

hou, méně podstatnou, vlastností objektu je Barva. Ta je okolí dostupná a snadno z něj měnitelná, proto se jedná o vlastnost určenou ke čtení i zápisu.

Jak jsme již řekli na začátku, tak každý objekt obsahuje nejen data, ale i procedury s nimi přímo svázané. V počítači se pak jedná vlastně o rozhraní objektu umožňující mu komunikovat s okolím. Tato komunikace probíhá prostřednictvím zpráv, které si objekty mezi sebou vyměňují. Výměnu zpráv provádí operační systém počítače a není závislá na vlastních objektech. Každý objekt může zprávy z okolí přijímat nebo je vysílat do svého okolí. Pro příjem zpráv má objekt ve svém rozhraní připraveny procedury označované jako metody, které obvykle provádějí nějakou interní činnost s daty zapouzdřenými v objektu. Druhou skupinou komunikačních procedur jsou takové, které naopak zprávy z objektu vysílají

do okolí, kde je možné je volně zachytit. Protože tyto zprávy zpravidla reagují na nějaké důležité vnitřní změny v objektu, označují se jako události. Jak metody tak i události mohou mít své parametry, jimiž se ovlivňuje jejich vnitřní chod, a které jsou součástí příslušné zprávy přijímané nebo vysílané objektem. Navíc některé metody mají ještě tu vlastnost, že vracejí zpět volajícímu (vysílateli zprávy) nějakou hodnotu. Ve Visual Basicu .NET je dokonce možné vytvořit metody a události, které mohou předávat vysílateli zprávy informace zpět ve svých parametrech, s čímž vysílatel může podle potřeby počítat nebo to dokonce vyžadovat.

Příklad:

Vypínač má jako své metody, které je možné z okolí volat a nastavit jimi tak jeho stav, Vypnout a Zapnout. Naopak do svého okolí vysílá události Vypnuto a Zapnuto v závislosti na aktuálním vnitřním stavu, kdy buď rozpojil elektrický obvod, jehož je součástí, nebo jej naopak spojil.

Zpravidla platí, že pro zpracování jednoho typu zprávy přijaté z okolí má objekt připravenou jednu metodu. Někdy je však objekt též připraven na zpracování více zpráv stejného jména, jejichž součástí je různé množství parametrů nebo stejné množství parametrů různého typu. Pro zpracování takových zpráv má objekt přichystáno několik metod stejného jména s různým množstvím nebo typy parametrů. Všechny takovéto metody stejného jména označujeme jako přetížené metody.

Stejně jako máme doma více než jeden vypínač, tak máme často v programech více objektů stejného typu. O všech těchto objektech tvrdíme, že jsou to objekty stejné třídy (objek-

tové třídy). Všechny objekty stejné třídy mají stejnou interní strukturu, drží si stejné typy dat - interní i veřejně dostupné ve vlastnostech, a pro zpracování respektive vysílání zpráv mají nachystány stejné metody respektive události. Všechny objekty jedné takové třídy nazýváme instancemi této třídy.

3.2.2 Dědičnost

Pokud jste již někdy v životě přišli do styku s objektově orientovaným programováním, těžko jste ještě neslyšeli o pojmu dědičnost. Osobně jej považuji za stěžejní v celé oblasti OOP. Teprve její rozumnou implementací je možné nějaký programovací jazyk považovat za objektově orientovaný (aspoň podle mě). Pro ty, kteří již mají zkušenosti se staršími verzemi Visual Basicu, mám dobrou zprávu, protože ve verzi .NET je konečně implementována. O co tedy jde?

Základní princip dědičnosti je odvozen z reality našeho světa. Pokud již "něco" známe (v našem případě vypínač), pak můžeme vytvořit poměrně snadno vytvořit "něco jiného" (v našem případě to bude přepínač) tím, že "něco" vezmeme takové jaké to je a obohatíme to o nějaké další vlastnosti a metody. V našem případě na příkladu vezmeme vypínač a vytvoříme z něj přepínač na chodbu, kde pak bude možné rozsvítit z různých konců chodby. Pro vytvoření přepínače nám stačí konstatovat, že vezmeme kompletní vypínač a obohatíme jej o vlastnost vzdálený přepínač, která bude obsahovat odkaz na druhý z přepínačů rozsvěcující společné světlo.

Stejným způsobem je dědičnost implementována do objektového prostředí. Při vytváření nové - odvozené nebo chcete-li dceřiné - třídy vezmeme kteroukoli již existující třídu, označíme ji za rodičovskou třídu, čímž zdědíme všechny její vlastnosti, metody i události a doplníme do ní jen rozdíly. Každá třída objektů pak zná nejen své vlastnosti, metody a události, ale pamatuje si i svoji třídu rodičovskou. V praxi to pak znamená, že pokud objekt (instance) nějaké třídy přijme nějakou zprávu, vyhledá k ní odpovídající metodu ve své třídě a tu provede. Pokud však takovou metodu nezná, předá tuto zprávu své rodičovské třídě, kde probíhá stejný pokus o vyhledání příslušné metody nebo pokus o předání zprávy dále další rodičovské třídě. Tento mechanismus probíhá v hierarchii objektových tříd dále, dokud není příslušná metoda vyhledána nebo již neexistuje rodičovská třída. Obdobně je tomu u vlastností objektů a nejinak i u událostí. Každý objekt vysílá do svého

okolí zprávy (události) definované v jeho třídě i ve všech rodičovských třídách, z nichž je jeho třída odvozena.

3.2.3 Polymorfismus

Z principu dědičnosti a nejen z něj vychází i další důležitý pojem, který je nutný vhodně implementovat do konkrétního programovacího jazyka, abychom o něm mohli mluvit jako o programovacím jazyku objektově orientovaném. Tímto pojmem je polymorfismus. Polymorfismus v podstatě říká, že na zaslání jedné a té samé zprávy reagují objekty, které jsou instancemi různých tříd, různým způsobem.

Abychom si toto mohli uvést na konkrétním příkladu, nevystačíme si tentokrát s naším vypínačem. Budeme muset zabrousit do oblasti objektů vytvořených v našem počítači při jeho činnosti. Mnoha objektům vytvořeným ve VB.NET programech je možné zaslat zprávu vytvoř kopii. Metoda, která tuto zprávu zpracuje, vytvoří novou instanci příslušné třídy, která bude mít stejné hodnoty vlastností jako instance původní. Bude-li původní instance třeba číslem, vytvoří se číslo nové. Bude-li původní instance textovým polem, pak se vytvoří nové textové pole.

Díky tomuto principu je možné napsat jednu část programu, která pak bude využitelná pro práci s objekty různých tříd, pokud tyto třídy mají implementovány metody schopné zpracovávat stejné zprávy se stejnou strukturou parametrů. (Toho je možné často s výhodou využít.)

Polymorfismu se často využívá i ke změně zpracování určité zprávy došlé do instance dceřiné třídy oproti jejímu zpracování v instanci třídy rodičovské, z níž je zděděna. Proto se v dceřiné třídě vytvoří metoda stejného jména a stejných parametrů jako ve třídě rodičovské, kterou však tato "přepíše". Obdrží-li pak instance dceřiné třídy příslušnou zprávu, vyhledává prvně odpovídající metodu pro zpracování zprávy v sobě samé a když ji najde, tak ji provede. Visual Basic .NET navíc umožňuje v takovýchto metodách, které přepisují metody rodičovské třídy, provést volání a realizaci stejné metody ve třídě rodičovské v rámci interní činnosti metody dceřiné.

S existencí dědičnosti mezi třídami a také polymorfismu je úzce spjata existence speciálních tzv. abstraktních tříd. Jedná se o speciální třídy, které mají definováno rozhraní reprezentované vlastnostmi a metodami, které vlastně povětšinou neprovádějí žádnou činnost ani neuchovávají nějaká data a nebo to naopak dělají, aby byly společným základem pro

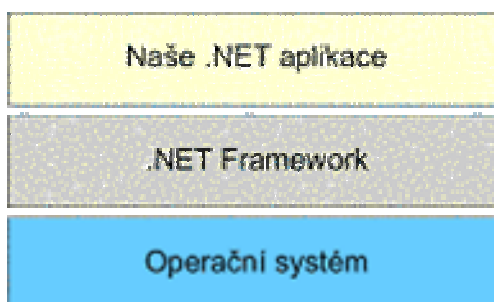
odvozené dceřiné třídy. To proto, že z abstraktní třídy není možné vytvořit konkrétní instanci (objekt). Chceme-li mít možnost nějakou instanci vytvořit, je nutné nejprve vytvořit novou třídu, která bude mít třídu abstraktní za svého rodiče, čímž zdědí všechny její vlastnosti, metody a události. Tyto je pak povětšinou třeba v dceřiné třídě přepsat tak, aby získali konkrétní náplň a význam.

3.2.4 Objektový návrh aplikací

Všech výše uvedených principů objektově orientovaného programování pak využijeme k optimálnímu návrhu struktury naší konkrétní aplikace, kterou budeme prostřednictvím Visual Basicu .NET realizovat. Takový návrh jednotlivých objektů, vzájemných vazeb mezi nimi, jejich tříd a jejich rozhraní si musíme udělat vždy před tím, než začneme psát první řádky programového kódu. Dobrým návrhem aplikace, která bude zpravidla kombinací vhodného využití objektových a procedurálních schopností nejen programovacího jazyka Visual Basic .NET, ale obecně jakéhokoli jiného programovacího jazyka obdobné úrovně, si ušetříme mnoho času při vlastní implementaci. [7]

3.3 .NET Framework

Jádrem veškerých změn přicházejících s novou vývojářskou platformou je jakási nadstavba nad operačním systémem, která byla pojmenována .NET Framework. Je to vlastně balík knihoven, jehož jednotné prostředí nabízí své objektové třídy vyšším programovacím jazykům, aby jej využily k práci při řešení konkrétních úloh nezávisle na použitém programovacím jazyce. Vztah .NET Frameworku k okolí bude asi nejlépe patrný z následujícího schématu:

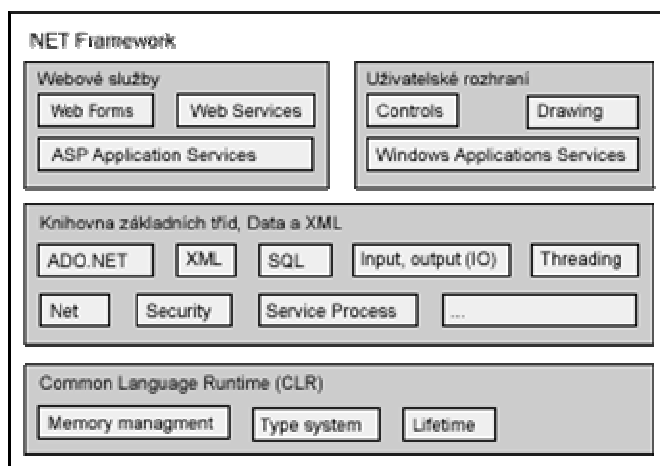


*Obr. 28. Vztah .NET Frameworku
k okolí*

.NET Frameworku je již jedno, jaký programovací jazyk ovládáme, protože pro všechny .NET jazyky nabízí stejné rozhraní. Stejně objektové třídy se stejnými metodami a vlastnostmi (až na drobné výjimky) jsou nyní dostupné jak programátorům ve Visual Basicu tak třeba v novém C#. Programátoři v obou (ale i ostatních .NET) jazycích tak komunikují se stejnou hierarchickou úrovní výsledné aplikace. (Zde je patrný velký rozdíl oproti předchozímu programování například ve Visual Basicu a ve Visual C++.) Máme možnost používat stejné datové typy atd. Pokud zvládnete dobře základní syntaxi jednoho programovacího jazyka, je pak celé umění programování .NET aplikací založeno na co nejlepší znalosti balíku .NET Frameworku. Budete-li jej dobře ovládat, bez problémů změníte programovací jazyk na nový, pochopíte-li pouze jeho syntaxi. Objektové rozhraní základních knihoven, které k programování vyšších aplikací využíváte, zůstane stejný.

V .NET Frameworku již existuje velké množství tříd objektů. Další kvanta tříd si vytváří programátoři na celém světě sami, k čemuž přispíváme nebo budeme přispívat i my. Protože není možné zajistit, aby se některé z těchto tříd nejmenovaly stejně, a také proto, že v jednom tak širokém výběru je těžké se orientovat, umisťují se třídy .NET Frameworku i ty vytvářené programátory do jakýchsi logických skupin označovaných namespace, česky jmenné prostory. Všechny třídy v jednom jmenném prostoru mívají zpravidla něco společného (například slouží k práci XML soubory), ale nemusí to být pravda. Jmenné prostory jsou hierarchicky uspořádané bez jakéhokoli omezení. Jedno omezení zde ale přeci jen platí: v jedné hierarchické vrstvě uvnitř jednoho jmenného prostoru nemohou být umístěny dvě třídy nebo dva jmenné prostory stejného jména. V různých vrstvách nebo různých jmenných prostorech mohou být třídy nebo jmenné prostory stejného jména jako jinde (lze je pak odlišit zápisem celé hierarchické cesty).

Aby toto mohla nějaká aplikační vrstva jednotně zajistit, musí interně řešit množství problémů, jejichž řešení je známé zvláště programátorům v programovacích jazycích ležících blíže k operačnímu systému (například C++). Dále pak musí nabízet množství objektových tříd pro činnost výkonných a logických vrstev aplikací a v neposlední řadě též objekty pro budování uživatelského rozhraní. Vše toto je uloženo v jednotlivých vrstvách .NET Frameworku, jehož zjednodušenou interní strukturu přináší následující schéma:



Obr. 29. Interní struktura .NET Framework

Z problémů řešených nejnižší vrstvou označovanou jako Common Language Runtime (zkráceně CLR) bych jako významné zmínil aspoň dva: správu paměti a typovou bezpečnost. CLR zajišťuje i další úkony, jako je přístup ke stávajícímu API rozhraní operačního systému i zajištění dalších funkcionalit vázaných na operační systém, avšak v současném jeho API rozhraním nepostihnutých. Co si však můžeme představit pod řešením zmíněných problémů? *Typová bezpečnost* zajišťuje jednoznačné určení datového typu každé proměnné na jedné straně, respektive každého místa v paměti používaného pro uchování dat. Pokud totiž například nějaké paměťové místo využijeme k uložení celého čtyřbytového čísla (typu integer), nemůžeme následně z tohoto paměťového místa číst sice celé, ale pouze dvoubytové číslo (typu Int16). Prostředí .NET Frameworku nám to neumožní, pokud nepoužijeme nějakou přípustnou typovou konverzi. Pro *vnitřní správu paměti* je v .NET Frameworku využita technologie *Garbage Collection*. Tato technologie si, zjednodušeně řečeno, v momentě vytvoření nějakého objektu zapamatuje jeho umístění v paměti. Pokud s objektem pracujeme, nechá jej na místě nebo přemístí na místo jiné, uvolněné po jiném objektu tak, aby bylo paměťové místo co nejsouvisleji a nejvýhodněji využito. Pokud uvolníme poslední referenci na nějaký objekt v paměti, zjistí to příslušný algoritmus této technologie a označí takový objekt za určený k odstranění. Teprve v druhém kroku, který provádí jiné vlákno, dojde s určitým časovým zpožděním k vlastnímu odstranění objektu. Vzniklá díra v paměti je následně zaplněna jiným objektem, buď novým nebo na toto místo přesunutým.

Celá technologie se pak postará o změnu všech referencí odkazujících se na přesunutý objekt, aniž by jsme se o to museli starat my, programátoři.

Prostřední vrstva .NET Frameworku obsahuje základní třídy objektů pro přístup k datům v databázích, souborech i XML a třídy pro práci s důležitými entitami vázanými na operační systém jako například práce s procesy a vlákny. V našich aplikacích budeme třídy z této vrstvy využívat převážně v tzv. logické vrstvě aplikace.

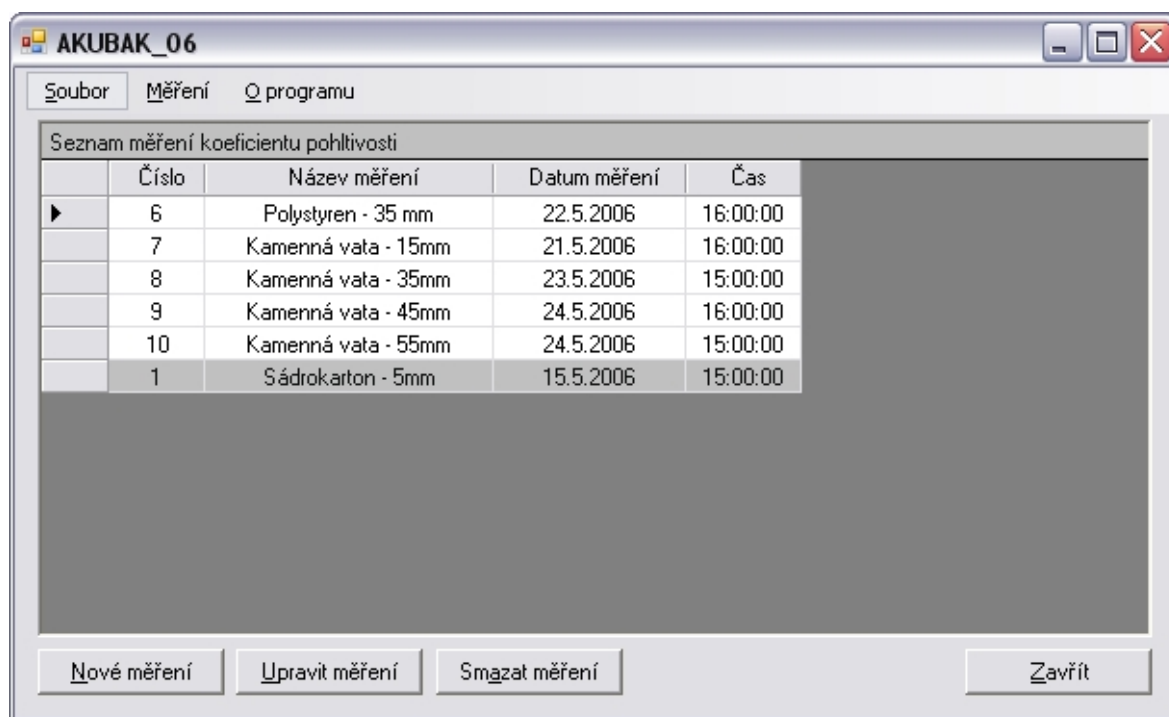
Nejvyšší vrstvu .NET frameworku pak představují třídy zaměřené na prezentaci údajů z aplikace uživatelům. Využijeme je hlavně v prezentačních vrstvách našich aplikací. Jsou zde třídy pro ovládací prvky Windows formulářů i webových formulářů, Windows servisy a třídy pro webové služby i třídy pro tvorbu grafických výstupů. [6]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 PROGRAM AKUBAK_06

AKUBAK_06 slouží k vyhodnocení akustických vlastností stavebních materiálů. Program je napsán v programovacím jazyce Visual Basic .NET v integrovaném vývojovém prostředí Microsoft Visual Studio 2005. Výhodou .NET technologie je to, že při instalaci Microsoft .NET Framework není potřeba řešit instalace jednotlivých aplikací, ale stačí nainstalovat .NET Framework a pak jednotlivé aplikace už jenom spouštět z určených adresářů.

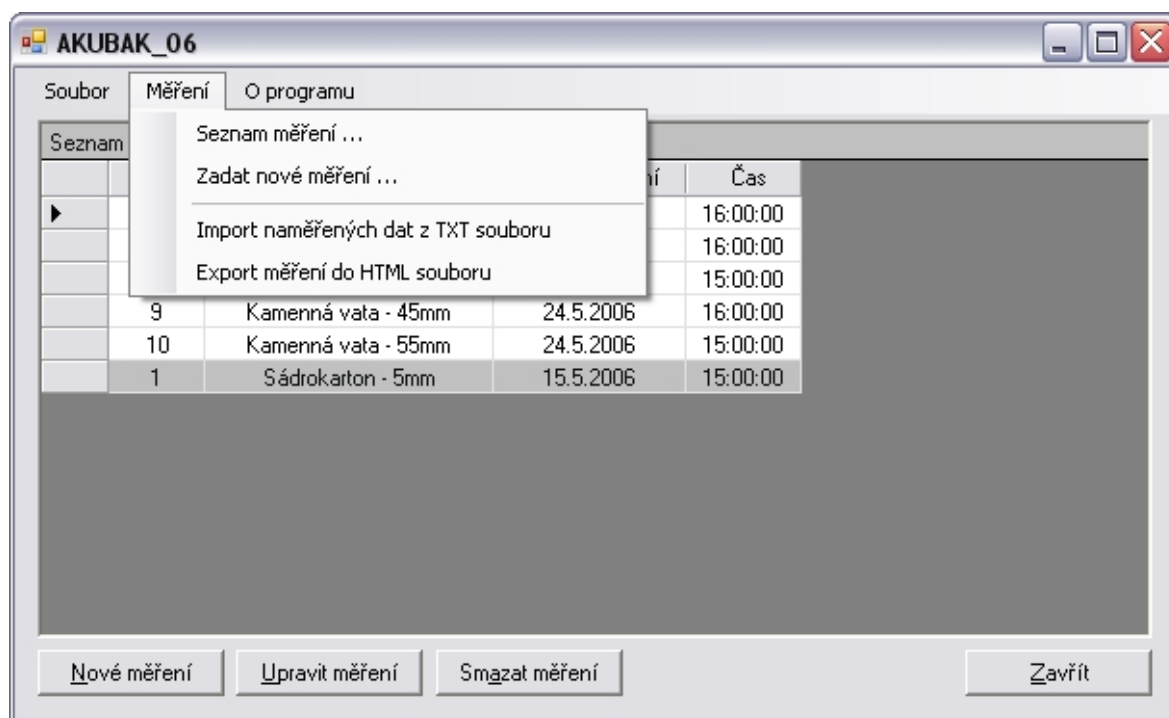
4.1 Hlavní dialogové okno aplikace



Obr. 30. Hlavní dialogové okno aplikace AKUBAK_06_01

Na hlavním dialogovém okně jsou umístěna všechna důležitá tlačítka, přes která se uživatel dostane do dalších funkcí programu, dále seznam měření zobrazený v *DataGridu*, a také tlačítka, která slouží ke správě měření.

Každou nabídku je možno vyvolat přes klávesovou zkratku a to tak, že se přidrží klávesa *Alt*, v ten okamžik se u každé nabídky zobrazí písmeno, které definuje přiřazenou zkratku pro danou volbu. Tak například po stisknutí *Alt + M* se otevře položka v menu *Měření*, což vypadá takto:



Obr. 31. Hlavní dialogové okno aplikace AKUBAK_06_02

Položka v menu *Soubor* obsahuje dvě další položky. První je funkce *Přihlásit se ...* a druhá je *Konec programu*. *Přihlásit se ...* slouží k tomu, aby uživatel mohl s programem pracovat. Pokud se nezadájí správné přihlašovací údaje, program ohlásí chybné zadání přihlašovacích údajů a čeká na nové zadání.

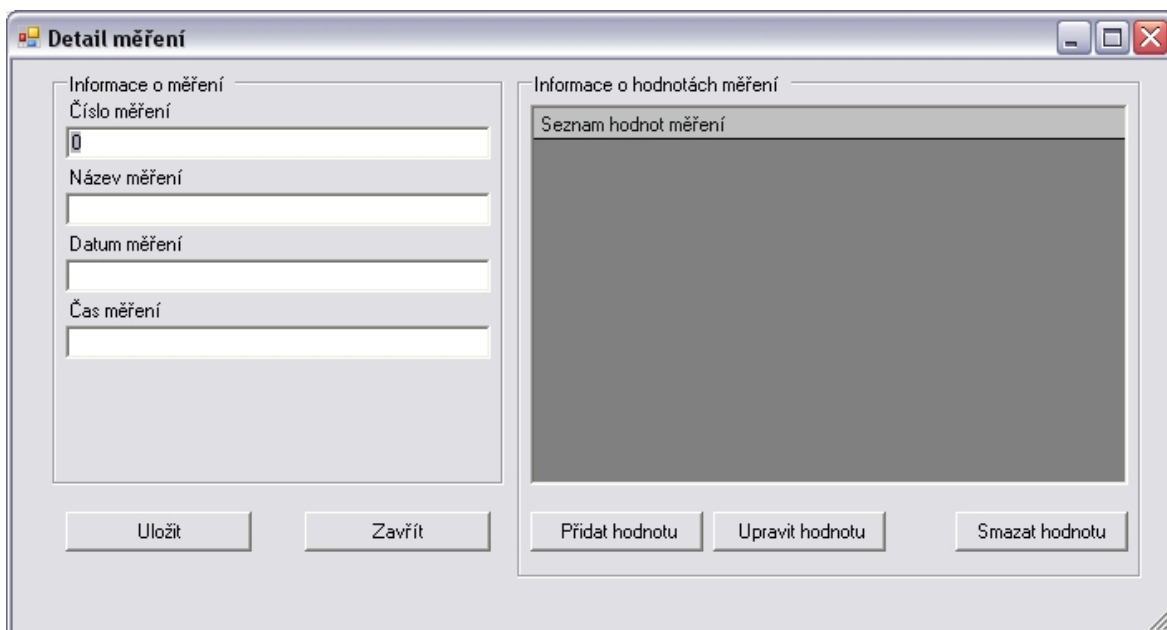
Další položka v menu v horní liště je pojmenována *Měření*. V této nabídce jsou čtyři položky. *Seznam měření ...*, *Zadat nové měření ...*, *Import naměřených dat z TXT souboru* a *Export měření do HTML souboru*. Volba *Seznam měření ...* slouží k tomu, že v případě nenačtení seznamu měření nebo pokud byl předtím zavřen, pak touto volbou se opětovně otevře. Při stisknutí volby *Zadat nové měření ...* se otevře nové dialogové okno, které by se otevřelo i při stisknutí tlačítka na dolní liště hlavního dialogového okna pod názvem *Nové měření*. Toto okno bude popsáno v dalším textu. *Import naměřených dat z TXT souboru* slouží k tomu, jestliže je potřeba importovat naměřená data z TXT souboru. Přesný formát tohoto souboru je uveden v příloze č.1. *Export měření do HTML souboru* slouží k prezentování výsledků na internetových stránkách, výsledek exportu do html je ukázán v příloze č.2.

Poslední položka v menu v horní liště je menu *O programu*. V této nabídce jsou dvě položky, jedna *Nápověda* a druhá je volba *O aplikaci*. V *Nápovědě* je popsán stručně návod pro použití programu AKUBAK_06 a v *O aplikaci* popis, kdo program dělal, k čemu slouží, a další důležité údaje.

Ve středu hlavního dialogového okna je výpis seznamu měření, u kterého funguje řazení podle všech propozic (Číslo, Název měření, Datum měření a Čas). Který řádek v tabulce je označen, s tím je možno dále pracovat, např. pokud je kliknuto na tlačítko *Upravit měření* nebo *Smazat měření* v dolní liště hlavního dialogového okna. Na dolní liště je ještě tlačítko *Zavřít*, které zavře aktuální tabulku údajů.

4.2 Okno Detail měření

Při zvolení volby *Nové měření* v dolní liště a nebo v menu *Měření* se otevře následující okno, které je pojmenováno jako *Detail měření*:



Obr. 32. Okno Detail měření

V tomto okně je možnost vyplnit čtyři základní formulářové pole, dále pak výpis seznamu hodnot pro jednotlivá měření a tlačítka pro úpravy těchto hodnot (*Přidat hodnotu*, *Upravit hodnotu*, *Smazat hodnotu*). Do formulářových polí se uvede (viz. Obr. 32) *Číslo měření*, *Název měření*, *Datum měření* a *Čas měření*. Po vyplnění těchto údajů kliknutím na tlačítko *Uložit* se patřičné záznamy uloží do databáze měření. Po uložení se automaticky okno za-

vře a se objeví hlavní dialogové okno. Pokud uživatel nechce zadat nové údaje do databáze měření, stačí kliknout na tlačítko *Zavřít*, okno se automaticky zavře a se objeví hlavní dialogové okno.

Do tohoto dialogové okna se uživatel může dostat ještě jiným způsobem. A to tak, že v hlavním dialogovém okně vybere položku v tabulce měření a klikne na tlačítko *Upravit měření*. Objeví se dialogové okno *Detail měření*, jako při zadávání nového měření, ale podstatný rozdíl je v tom, že tyto údaje - *Číslo měření*, *Název měření*, *Datum měření* a *Čas měření*, jsou již vyplněny a uživatel je může měnit. Následné úpravy těchto políček se uloží kliknutím na tlačítko *Uložit*.

4.3 Okno Přidání hodnoty

Dialogové okno *Přidání hodnoty* je možno vyvolat kliknutím na tlačítko *Přidat hodnotu* nebo *Upravit hodnotu* v dialogovém okně *Detail měření* uvedené výše v textu.



Obr. 33. Okno Přidání hodnoty

V tomto okně má uživatel možnost vyplnit údaje o hodnotách jednotlivých měření, jako jsou *Číslo hodnoty*, *Frekvence* a *Koeficient pohltivosti*. Tyto hodnoty se dají uložit stisknutím na tlačítko *Uložit*, druhá volba je toto okno zavřít tlačítkem *Zavřít*. Po stisknutí jednoho z dvou možných tlačítek se zavře toto okno a objeví se dialogové okno *Detail měření*. Pokud uživatel ukládal hodnoty, projeví se to v okně *Detail měření*, kde se tyto hodnoty vypíšou v pravé části tohoto okna. Pokud uživatel označí v okně *Detail měření* nějakou položku ze seznamu hodnot a klikne na tlačítko *Upravit hodnotu*, opět se objeví okno *Přidání*

hodnoty, ale již s vyplněnými hodnotami, které uživatel může upravit. Opravu provede kliknutím na tlačítko *Uložit*.

4.4 Doporučené softwarové a hardwarové požadavky programu AKUBAK_06

- počítač PC 1,8 GHz
- RAM 256MB
- grafický akcelerátor a monitor pro rozlišovací schopnost 800x600
- CD-ROM mechaniku 16x
- Platformu Microsoft Windows 2000/XP Service Pack 2
- .NET Framework 2.0 (pouze v případě, že nebyl v minulosti instalován)

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vytvoření programu pro zdokonalení vyhodnocení měření akustických vlastností stavebních materiálů.

Teoretická část zpracovává problematiku základních akustických veličin a vliv těchto veličin na fyzikální vlastnosti daných materiálů. Dále byly zpracovány poznatky z oblasti programového vývoje, při čemž důraz celé práce je kladen na nejmodernější techniky současného programování.

K tomuto účelu byl vytvořen program AKUBAK_06, který byl vyvinut v Microsoft Visual Studiu .NET, jež představuje špičku soudobého vývoje software na platformě Microsoft. Neméně důležitým faktem je to, že byla pro vývoj použita třívrstvá architektura, která je používána v produkci informačních systémů celé řady nadnárodních společností po celém světě.

Obě tyto informační technologie určují další směr vývoje software pod platformou Microsoft. Jako databázová platforma byla použita Microsoft Access.

Program AKUBAK_06 je určen pro vyhodnocení měření akustických vlastností materiálů, kdy byly proměřeny hlavně materiály stavební.

Konkrétně program zpracovává závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci, umožňuje ukládání a načítání měření, import z textových souborů a export do html souborů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SMETANA, Ctirad a kol. Hluk a vibrace, měření a hodnocení. 1. vyd. Praha : Sdělovací technika, 1998. 188 s. ISBN 80-901936-2-5
- [2] VAŇKOVÁ, M. a kol. Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí, část I. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické, 1995. 144 s. ISBN 80-214-0695-X.
- [3] VAŇKOVÁ, M. a kol. Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí, část II. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické, 1996. 164 s. ISBN 80-214-0818-9.
- [4] NOVÝ, R. Hluk a chvění. 2. vyd. Praha : České vysoké učení technické, 2000. 389 s. ISBN 80-01-02246-3.
- [5] EVEREST, F. Alton. Master Handbook of Acoustics. 4. vyd. USA : McGraw-Hill/TAB Electronics, 2001. 592 s. ISBN 0071360972.
- [6] PICHLIK , Roman. Dagblog - blog nejen pro kodery [online]. 2002-2004 [cit.2006-06-11]. Dostupný z WWW: <http://www.sweb.cz/pichlik/archive/2004_11_07_archive.html>.
- [7] MOUTVIC, Václav. Programování ve VB .NET - Základy OOP [online]. 2000-2004 [cit. 2006-06-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.pcsvet.cz/art/article.php?id=4909>>.
- [8] Vybavení - přístroje umístěné na ústavu [online]. 2002-2005 [cit. 2006-06-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.ft.utb.cz/czech/ufmi/vybaveni.html>>.
- [9] Diskuzní forum: .Net [online]. 1997-2005 [cit. 2006-06-13]. Dostupný z WWW: <<http://forum.builder.cz/list.php?31>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

f	–	frekvence (Hz)
λ	–	vlnová délka (m)
t	–	čas (s)
T	–	perioda vlnění (s)
τ	–	činitel zvukové propustnosti
Q	–	množství tepla (J)
q	–	hustota tepelného toku ($\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
S	–	plocha (m^2)
t	–	teplota ($^{\circ}\text{C}$)
Δt	–	rozdíl teplot ($^{\circ}\text{C}$)
δ	–	tloušťka (m)
λ	–	tepelná vodivost ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
ρ	–	hustota ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) Δ
∇	–	diferenciální operátor (n^{-1})
α	–	koeficient zvukové pohltivosti
A	–	amplituda (m)
β	–	činitel zvukové odrazivosti
c	–	rychlost zvuku ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
η	–	činitel vnitřních ztrát
E	–	dynamický modul pružnosti v tahu (Pa)
I	–	intenzita zvuku ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
μ	–	Poissonova konstanta
ω	–	úhlový kmitočet (Hz)
π	–	Ludolfovo číslo – konstanta

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Šíření zvukové vlny, vlnoplocha a zvukový paprsek	13
Obr. 2. Grafické znázornění průběhu výchylek vlnění příčného (a - u tuhých látek) a podélného (b - u plynného a kapalného prostředí)	14
Obr. 3. Druhy příčného vlnění	14
Obr. 4. Časové rozvinutí harmonického kmitání při amplitudě výchylky S_M , úhlovém kmitočtu ω_t a fázovém posuvu φ	15
Obr. 5. Nomogram závislosti mezi dobou kmitu, kmitočtem a úhlovým kmitočtem (hrubá a jemná hodnota)	16
Obr. 6. Časové rozvinutí průběhu výchylky, rychlosti a zrychlení hmotného bodu při jeho harmonickém kmitání	17
Obr. 7. Přepočet kmitočtu na vlnovou délku (hrubá a jemná hodnota)	19
Obr. 8. Grafické znázornění špičkové hodnoty (a), střídavé střední hodnoty (b), střední hodnoty (c) - stejnosměrná složka = 0 a efektivní hodnoty (d) jednoduchého signálu	20
Obr. 9. Časové průběhy a odpovídající kmitočtová spektra signálu sinusového (a), periodického složeného signálu (b) - spektrum diskrétních složek a neperiodického signálu (c a d - spojitá spektra)	22
Obr. 10. Konstrukce odražených paprsků pomocí zrcadlového obrazu zdroje (fiktivního zářiče)	25
Obr. 11. Zvýšení akustického tlaku na čelní ploše překážky pro různé vlnové délky λ , rozměr překážky a směr dopadu signálu na překážku	26
Obr. 12. Průchod zvuku otvory v překážce	27
Obr. 13. Lom a odraz zvukového paprsku na rozhraní prostředí s danou hustotou a rychlostí šíření	28
Obr. 14. Změna směru šíření zvukového paprsku lomem za obvyklých rozložení teplotních vrstev nebo unášením pohybem prostředí	28
Obr. 15. Průběhy příčného stojatého vlnění úplného (a) a částečného (b)	30
Obr. 16. Akustická intenzita procházející zcela uzavřenou plochou, je-li zdroj hluku uvnitř sledovaného prostoru (a) nebo vně (b)	34
Obr. 17. Pokles akustického tlaku na zdvojnásobení vzdáleností	36
Obr. 18. Nomogram pro sčítání hladin nekoherentních signálů	38

Obr. 19. Nomogram pro určení hladiny při n zdrojích	38
Obr. 20. Pro určování hladin složkových signálů.....	39
Obr. 21. Akustický dipól - zářič s osmičkovou vyzařovací směrovou charakteristikou	42
Obr. 22. Typy akustických polí v uzavřeném prostoru	44
Obr. 23. Dvouválcová impedanční trubice Brüel & Kjaer typ 4206	45
Obr. 24. Dvoukanálový signální analyzátor Brüel & Kjaer typ 2034	46
Obr. 25. Mikroprocesorový liniový zapisovač LOGOLINE 500	47
Obr. 26. Model dvouvrstvé architektury.....	48
Obr. 27. Model třívrstvé architektury	49
Obr. 28. Vztah .NET Frameworku k okolí	55
Obr. 29. Interní struktura .NET Framework	57
Obr. 30. Hlavní dialogové okno aplikace AKUBAK_06_01	60
Obr. 31. Hlavní dialogové okno aplikace AKUBAK_06_02	61
Obr. 32. Okno Detail měření	62
Obr. 33. Okno Přidání hodnoty.....	63

SEZNAM TABULEK

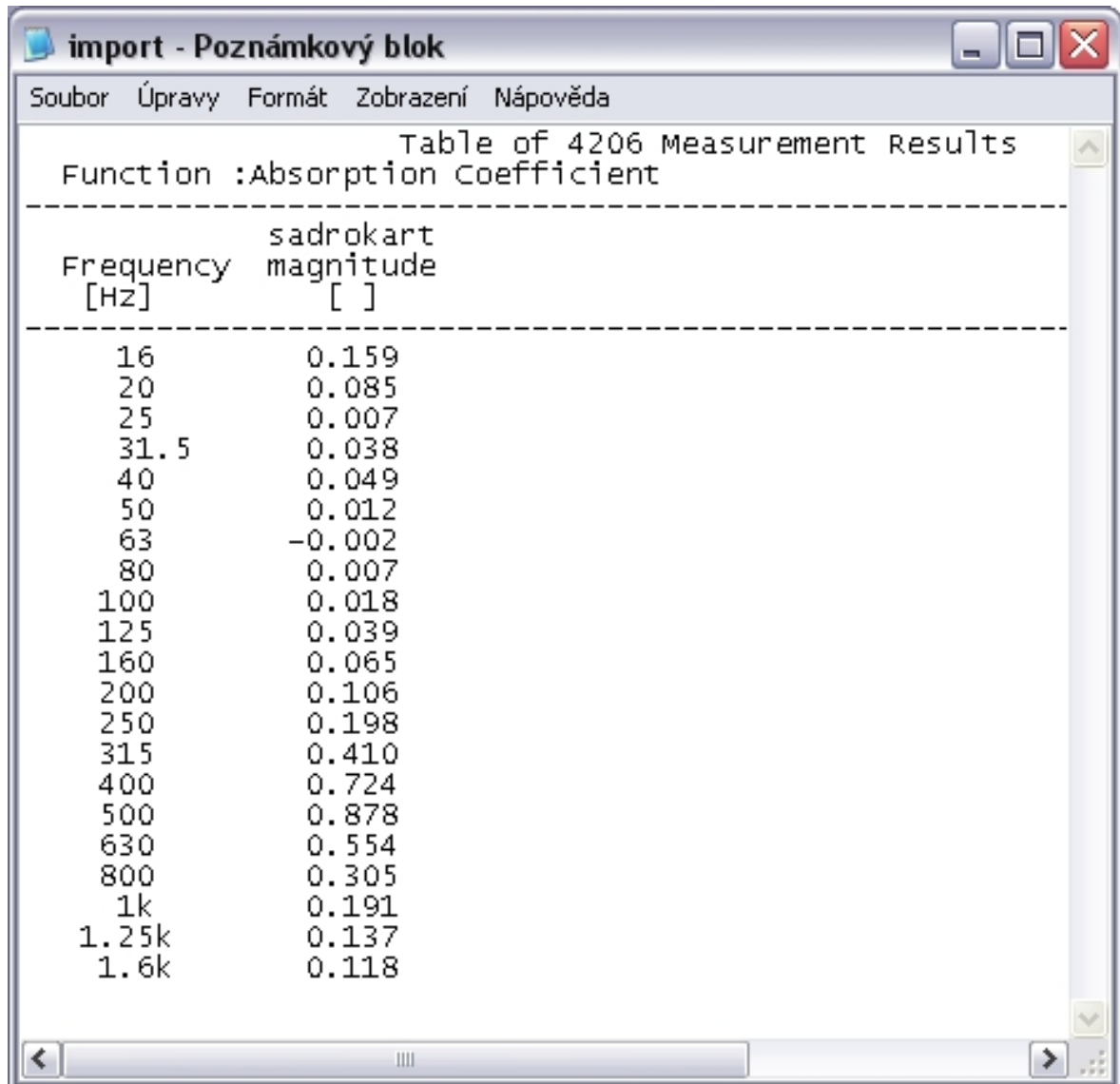
Tab. 1. Rychlost šíření rozruchu c [m/s] prostředím	18
Tab. 2. Závislost vlnové délky ve vzduchu na kmitočtu	18
Tab. 3. Přepočty hodnot jednoduchých, tj. sinusových signálů.....	24
Tab. 4. Útlum δ šíření zvuku ve vzduchu	31
Tab. 5. Pro přepočty hladin akustického tlaku a intenzity.....	33
Tab. 6. Akustické výkony W [W] typických zdrojů zvuku	37
Tab. 7. Zdroje zvuku a jejich akustické pole	41

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P 1: Příklad textového souboru pro import do programu AKUBAK_06

Příloha P 2: Příklad HTML souboru vytvořeného pomocí funkce EXPORT v programu
AKUBAK_06

Příloha P 3: CD disk se zdrojovými kódy a programem AKUBAK_06

PŘÍLOHA P 1: PŘÍKLAD TEXTOVÉHO SOUBORU PRO IMPORT DO PROGRAMU AKUBAK_06

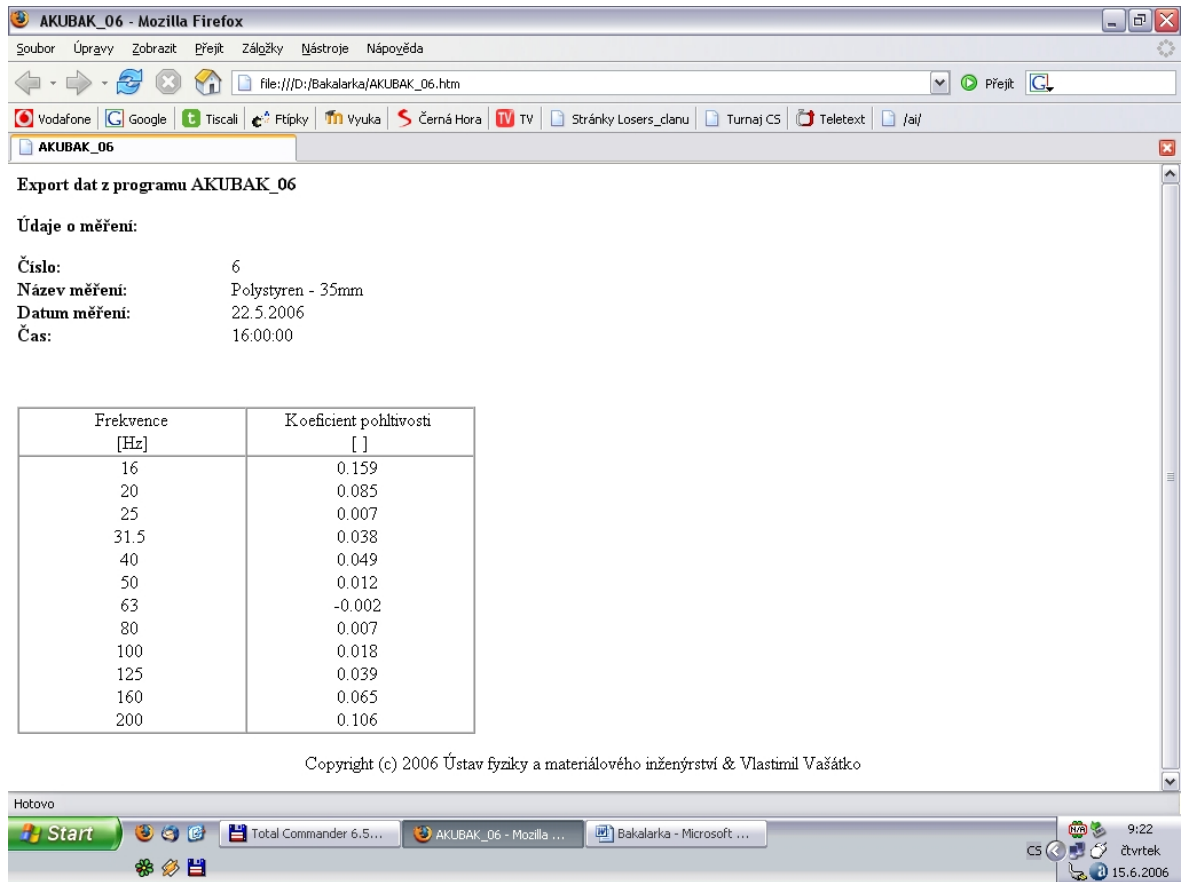
import - Poznámkový blok

Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda

Table of 4206 Measurement Results
Function :Absorption Coefficient

Frequency [Hz]	sadrokart magnitude []
16	0.159
20	0.085
25	0.007
31.5	0.038
40	0.049
50	0.012
63	-0.002
80	0.007
100	0.018
125	0.039
160	0.065
200	0.106
250	0.198
315	0.410
400	0.724
500	0.878
630	0.554
800	0.305
1k	0.191
1.25k	0.137
1.6k	0.118

PŘÍLOHA P 2: PŘÍKLAD HTML SOUBORU VYTVOŘENÉHO POMOCÍ FUNKCE EXPORT V PROGRAMU AKUBAK_06



AKUBAK_06 - Mozilla Firefox

Soubor Úpravy Zobrazit Přejít Záložky Nástroje Nápověda

file:///D:/Bakalarka/AKUBAK_06.htm

Vodafone Google Tiscali Ftipky Vyuka Černá Hora TV Stránky Losers_clanu Turnaj CS Teletext /aj/

AKUBAK_06

Export dat z programu AKUBAK_06

Údaje o měření:

Číslo: 6
Název měření: Polystyren - 35mm
Datum měření: 22.5.2006
Čas: 16:00:00

Frekvence [Hz]	Koeficient pohltivosti []
16	0.159
20	0.085
25	0.007
31.5	0.038
40	0.049
50	0.012
63	-0.002
80	0.007
100	0.018
125	0.039
160	0.065
200	0.106

Copyright (c) 2006 Ústav fyziky a materiálového inženýrství & Vlastimil Vašátko

Hotovo

Start Total Commander 6.5... AKUBAK_06 - Mozilla ... Bakalarka - Microsoft ...

9:22 čtvrtek 15.6.2006

**PŘÍLOHA P 3: CD DISK SE ZDROJOVÝMI KÓDY A PROGRAMEM
AKUBAK_06**